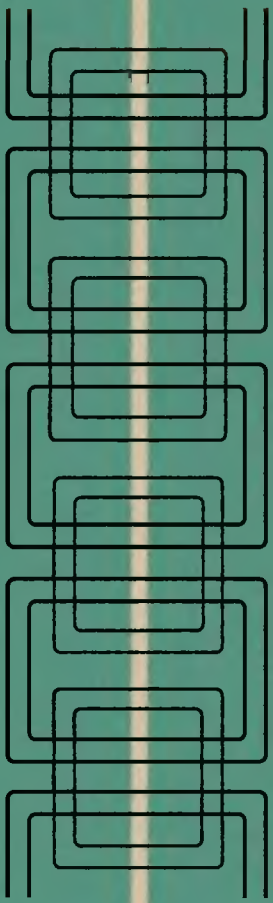
cartea bobinatorului de mașini electrice

c. bălă
a. fetița
v. lefter



Cartea bobinatorului de mașini electrice

Coperta : arh. T. STANCU

C. Bălă, A. Fetița, V. Lefter

cartea bobinatorului de mașini electrice

Ediția a II-a
revăzută

EDITURA TEHNICĂ
București — 1967

După o scurtă descriere a construcției mașinilor electrice, se prezintă materialele electroizolante utilizate în construcția înfășurărilor mașinilor electrice.

Pe capitole distincte sînt tratate înfășurările concentrate, înfășurările tip indus de curent continuu, înfășurările de curent alternativ, toate aceste tipuri fiind însoțite de numeroase scheme tipice de bobinaj cu caracteristicile și domeniul lor de utilizare, cu exemple de calcul și de recalculare. Separat sînt tratate înfășurările de curent alternativ cu schimbarea numărului de poli și înfășurările mașinilor mici de curent continuu și alternativ. În ultimele capitole sînt tratate construcția și execuția înfășurărilor, defectele tehnologia și utilajele necesare bobinării înfășurărilor.

În tabelele din text și din anexe sînt cuprinse caracteristicile materialelor uzuale și indicații de utilizare a lor în construcția diferitelor tipuri de înfășurări etc.

Lucrarea se adresează lucrătorilor din secțiile de bobinaj ale fabricilor constructoare de mașini electrice, bobinatorilor din atelierele de reparare a mașinilor electrice din întreprinderile industriale, din atelierele de reparații și din cooperativele de producție, putînd fi utilă și altor categorii de cititori care lucrează în domeniile construcției, exploatării, reparării și încercării mașinilor electrice.

Prefață

la ediția a II-a

În ediția a II-a, revăzută și completată a lucrării „CARTEA BOBINATORULUI DE MAȘINI ELECTRICE" sînt prezentate schemele și elementele necesare înțelegerii construcției și funcționării înfășurărilor, elementele de calcul, încercare și de reparare a acestora, procesele tehnologice de execuție a înfășurărilor și caracteristicile materialelor electroizolante utilizate în construcția bobinajelor.

Lucrarea de față cuprinde 356 scheme ale înfășurărilor celor mai uzuale, 578 fotografii și schițe ale înfășurărilor în fază de execuție și ale utilajelor și dispozitivelor auxiliare utilizate în confecționarea lor, 54 tabele integrate în text conținînd caracteristicile materialelor electroizolante și ale înfășurărilor și 8 tabele prezentate în anexă cu principalele scheme de izolație ale înfășurărilor (în crestătură) și dimensiunile conductoarelor de bobinaj standardizate în țara noastră.

În noua redactare, primele două capitole au fost restrînse. Astfel, capitolul 1 cuprinde numai o scurtă descriere a tipurilor principale de mașini electrice, iar în capitolul 2 sînt prezentate materialele electroizolante utilizate la izolarea conductoarelor și în construcția înfășurărilor. Înfășurările concentrate și repartizate de curent continuu formează obiectul capitolelor 3 și 4, în care s-au adus completări privind tipurile de înfășurări. În capitolul 5, complet restructurat, sînt prezentate într-o formă deductivă înfășurările de curent alternativ, pornindu-se de la elementele constructive de bază și de la dispunerea capetelor de bobină. În completarea acestui capitol sînt expuse înfășurările de curent alternativ ondulate (în bare). Capitolele 6, 7 și 8, în care sînt tratate înfășurările de curent alternativ ale mașinilor electrice cu schimbarea numărului de poli, ale mașinilor electrice de mică putere, precum și elementele constructive ale circuitului înfășurărilor, cuprind în plus în actuala ediție o varietate mai mare de scheme și indicații suplimentare privind echivalența diferitelor sorturi de perii utilizate la mașinile electrice. În capitolele 9 și 10, în care se tratează problemele construcției și execuției înfășurărilor

concentrate, respectiv repartizate, încercările înfășurărilor și identificarea defectelor, s-au extins părțile privitoare la calculul dimensiunilor înfășurărilor și ale șabloanelor și s-a adîncit expunerea metodelor de bobinare în scopul realizării unei legături firești cu capitolele precedente ușurîndu-se astfel însușirea proceselor tehnologice utilizate în prezent la execuția înfășurărilor. În ultimul capitol, la fel ca în ediția precedentă, se dau cîteva indicații privind utilajele și aparatele de dotare curentă pentru atelierele de bobinat mașini electrice de puteri mici și mijlocii.

Prin noua redactare a ediției de față, lucrarea se concentrează și mai mult asupra înfășurărilor mașinilor electrice și crează premizele de a atrage în procesul de concepție a schemelor și de elaborare a soluțiilor constructive ale înfășurărilor pe bobinatorii de mașini electrice. În acest fel lucrarea înlesnește însușirea cunoștințelor din specialitatea domeniului tratat și contribuie la creșterea nivelului tehnic al masei de lucrători din atelierele de bobinaj, care-și aduce aportul la realizarea sarcinilor actuale sporite ale industriei noastre electrotehnice și ale exploatării mașinilor electrice.

Autorii adresează mulțumiri tuturor acelora care prin sugestiile făcute, au avut amabilitatea de a contribui la îmbunătățirea conținutului lucrării.

AUTORII

Prefață

la ediția întîia

Este în același timp o datorie și o plăcere să scrii o prefață pentru lucrarea unor autori care ți-au fost nu de mult elevi, apoi colaboratori apropiați și în sfîrșit colegi.

A scrie o carte a bobinatorilor de mașini electrice este o sarcină dificilă, deoarece pe de o parte materialul, prin însăși natura lui, se pretează a fi tratat mai ușor pe viu decît de a fi descris într-o carte, iar pe de altă parte, din cauza dezvoltării impetuoase a tehnicii în acest domeniu, materialul uriaș care stă la dispoziție impune autorului un discernămînt sever în trierea și prezentarea lui.

Autorii lucrării, care îmbină în mod fericit activitatea practică cu cea didactică, au reușit în ciuda dificultăților menționate, să scrie o carte care fără îndoială va trezi interes în primul rînd în cercul larg al bobinatorilor care lucrează în atelierele de reparare a mașinilor electrice. Secretul lor constă în aceea că situîndu-se la nivelul bobinatorului de mașini electrice (unul dintre autori a fost el însuși bobinator), au înțeles că acesta nu este un simplu executant, ci un tehnician care gîndește și creează în acest domeniu, unde tehnica se îmbină cu arta. Cu entuziasmul tineresc ce-i caracterizează au pornit din aproape în aproape, de la bazele teoretice pînă la cele mai elementare operații practice de bobinare și le-au lămurit, atît pe calea descrierii, cît — în special — cu ajutorul schemelor și desenelor.

Un merit esențial al lucrării constă în aceea că, deși scrisă la un nivel mediu, autorii nu au lăsat de o parte problemele spinoase ale meseriei de bobinator. În carte se găsesc tratate, cu competența necesară, conexiunile echipotențiale și înfășurările combinate de curent

continuu, înfăşurările de curent alternativ cu schimbarea numărului de poli, înfăşurările speciale pentru maşini mici, înfăşurările imprimate etc. De asemenea este de menţionat numărul mare şi cu competenţă ales al exemplificării numerice.

Este sigur că pentru toate acestea autorii au depus o muncă migăloasă şi de lungă durată, dar fără îndoială că rezultatul activităţii lor va contribui la formarea şi specializarea multor bobinatori şi la ridicarea nivelului tehnic în domeniul maşinilor electrice din ţara noastră.

Acad. Prof. I. S. GHEORGHIU

Cuprins

1. Construcţia maşinilor electrice 15

1.1. Caracteristicile constructive ale maşinilor electrice 15
1.1.1. Tipurile de maşini electrice 15
1.1.2. Elementele constructive ale maşinilor electrice . . . 17
1.2. Tipurile de înfăşurări 23

2. Conductoare şi materiale izolante folosite în construcţia maşinilor electrice 24

2.1. Conductoare de bobinaj izolate 24
2.2. Materiale electroizolante întrebuinţate la izolarea înfăşurărilor . 33
2.2.1. Materiale electroizolante întrebuinţate pentru impregnarea şi acoperirea înfăşurărilor maşinilor electrice 42
2.2.2. Alegerea schemei de izolaţie a maşinii, în funcţie de solicitările termice care se produc 47

3. Înfăşurări concentrate 52

3.1. Tipuri de înfăşurări concentrate şi elementele lor componente . 52
3.2. Funcţiunile înfăşurărilor concentrate 53
3.2.1. Funcţiunile înfăşurărilor de excitaţie 53
3.2.2. Funcţiunile înfăşurărilor polilor auxiliari şi ale înfăşurărilor de compensare 56
3.3. Înfăşurările statorului maşinilor de curent continuu 56
3.4. Înfăşurările concentrate ale maşinilor sincrone 59
3.5. Determinarea dimensiunilor înfăşurărilor concentrate . . . 60

4. Înfăşurările tip indus de curent continuu 64

4.1. Tipuri de înfăşurări 64
4.1.1. Descriere. Domeniu de utilizare 64
4.2. Construcţia înfăşurărilor tip indus de curent continuu. Tipuri de înfăşurări 66
4.2.1. Elementele componente 66
4.2.2. Reprezentarea schematică a înfăşurărilor. Calea de curent 69
4.2.3. Paşii înfăşurării 71
4.2.4. Clasificarea înfăşurărilor tip indus de curent continuu . . 78

4.2.5. Poziția diametrală a periilor pe colector 79
4.2.6. Condițiile generale pe care trebuie să le îndeplinească înfășurările tip indus de curent continuu 81
4.3. Înfășurările în tambur 81
4.3.1. Înfășurările buclate 82
4.3.2. Înfășurările ondulate 92
4.3.3. Conexiunile echipotențiale 102
4.3.4. Înfășurările combinate 106
4.3.5. Alegerea tipului de înfășurare 109
4.4. Rebobinarea indusului mașinilor de curent continuu . . . 112
4.4.1. Determinarea schemei și a caracteristicilor înfășurării tip indus de curent continuu 112
4.4.2. Calculul dimensiunilor înfășurării indusului mașinii de curent continuu 114
4.4.3. Rebobinarea în vederea schimbării caracteristicilor unei mașini de curent continuu 118

5. Înfășurările de curent alternativ 123

5.1. Definiție. Clasificarea înfășurărilor după numărul de faze și după construcție. Domenii de utilizare. 123
5.2. Înfășurările bobinate 124
5.2.1. Elemente constructive ale înfășurărilor și reprezentarea lor în scheme. Tipuri de înfășurări 124
5.2.2. Caracteristicile și funcțiunile înfășurărilor de curent alternativ, bobinate 131
5.2.3. Înfășurările de curent alternativ într-un strat. Definiție, număr de bobine, clasificări 156
5.2.4. Înfășurări de curent alternativ în două straturi. Definiție, număr de bobine, clasificări 203
5.2.5. Înfășurări de curent alternativ în două straturi având bobine cu numere diferite de spire 249
5.2.6. Înfășurări de curent alternativ trifazate dispuse parțial într-un strat și parțial în două straturi ($q>1$) 250
5.3. Înfășurări în bare 254
5.3.1. Înfășurări cu legături de întoarcere 258
5.3.2. Înfășurări fără legături de întoarcere 261
5.3.3. Tabele cu conexiunile între elementele înfășurării pe fază, la înfășurările cu legături de întoarcere 262
5.3.4. Schemele frontale ale înfășurărilor ondulate, cu legături de întoarcere 268
5.4. Înfășurări în colivie 274
5.4.1. Generalități. Domeniul de utilizare 274
5.4.2. Înfășurările în colivie ale motoarelor asincrone . . . 274
a. Tipuri constructive de colivii 275
b. Elementele înfășurării în colivie 278
5.4.3. Înfășurări de amortizare 279
5.5. Recalcularea înfășurărilor repartizate de curent alternativ . . 280
5.5.1. Introducere și relații de calcul 280

5.5.2. Exemplu de recalculare a unei înfășurări de curent alternativ 286
5.5.3. Recalcularea înfășurărilor de curent alternativ la alte caracteristici de funcționare ale mașinii 289
a. Recalcularea înfășurării pentru altă tensiune, celelalte caracteristici rămînînd constante. 289
Exemplu de calcul 289
b. Recalcularea înfășurării pentru un număr de poli mai mic decît cel inițial 290
c. Recalcularea înfășurării pentru un număr de poli mai mari decît cel inițial 294
5.5.4. Schimbarea înfășurărilor din cupru cu înfășurări din aluminiu. 296

6. Înfășurări de curent alternativ cu schimbarea numărului de poli . . 298

6.1. Generalități 298
6.1.1. Principiul după care se execută înfășurările cu schimbarea numărului de poli 299
6.1.2. Caracteristicile mașinii înainte și după schimbarea numărului de poli 302
6.2. Înfășurări cu schimbarea numărului de poli, în raportul 2 : 1 . . 306
6.2.1. Înfășurări într-un strat 306
6.2.2. Înfășurări în două straturi 310
6.3. Înfășurări cu schimbarea numărului de poli în rapoarte diferite de 2 : 1 316

7. Înfășurările mașinilor electrice de puteri mici 321

7.1. Înfășurări concentrate 321
7.1.1. Înfășurări de excitație 321
7.1.2. Înfășurări în scurtcircuit 322
7.2. Înfășurări repartizate 323
7.2.1. Înfășurările mașinilor cu colector 323
7.2.2. Înfășurările mașinilor fără colector 330
7.3. Înfășurări imprimate 346

8. Elementele constructive ale circuitului înfășurărilor mașinilor electrice 349

8.1. Elementele auxiliare ale circuitului electric 349
8.2. Conductoarele de legătură 352
8.3. Bornele și placa de borne 354
8.4. Colectoarele și inelele de contact 359
8.4.1. Colectoarele 359
8.4.2. Colectoarele mașinilor mici și micromașinilor 362
8.4.3. Inelele de contact 364
8.5. Periile mașinilor electrice 365
8.5.1. Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească periile . . 365
8.5.2. Tipuri de perii. Caracteristici 365
8.5.3. Formele constructive ale periilor 368

8.5.4. Dimensiunile periilor 370
8.5.5. Alegerea periilor 371
8.5.6. Montarea și întreținerea periilor mașinilor electrice . . 377

9. Construcția și execuția înfășurărilor concentrate 379

9.1. Construcția și execuția înfășurărilor concentrate, ca bobine polare 379
9.1.1. Tipuri constructive 379
9.1.2. Bobine polare cu conductor rotund 381
9.1.3. Bobine polare cu conductor dreptunghiular 386
9.1.4. Bobine polare din două sau mai multe bobine elementare, din conductoare de secțiuni diferite 390
9.1.5. Bornele bobinelor polare 391
9.1.6. Execuția bobinelor polare 393
9.2. Înfășurări concentrate dispuse în crestături 407
9.3. Execuția circuitului înfășurărilor concentrate 410
9.3.1. Asamblarea polilor 410
9.3.2. Montarea polilor pe jugul feromagnetic 410
9.3.3. Execuția legăturilor (conexiunilor) între bobinele polare și a legăturilor la borne sau placa de borne a mașinii . . . 411
9.4. Încercările înfășurărilor concentrate 412
9.4.1. Încercările asupra materialelor 412
9.4.2. Încercările în timpul fabricației 412
9.4.3. Încercări finale 416
9.5. Defectele înfășurărilor concentrate 418
9.5.1. Rezistența de izolație mică față de corpul mașinii . . . 419
9.5.2. Scurtcircuitul între spire sau scurtcircuitarea unei bobine . 420
9.5.3. Întreruperea înfășurării 421
9.5.4. Conexiuni greșite între bobinele polare ale înfășurării . . 421

10. Construcția și execuția înfășurărilor repartizate 422

10.1. Tipuri constructive de înfășurări repartizate; elementele constructive ale înfășurării 423
10.2. Elementele active: conductorul, spira, bobina; tipuri de bobine . 423
10.3. Izolația înfășurărilor repartizate 426
10.3.1. Elementele componente ale izolației; schema de izolație a înfășurării 426
10.3.2. Elementele componente ale izolației în crestătură și izolația la capul de bobină 430
10.3.3. Izolația înfășurărilor tip indus de curent continuu . . . 431
10.3.4. Izolația înfășurărilor de curent alternativ de joasă tensiune 437
10.3.5. Izolația înfășurărilor de curent alternativ de înaltă tensiune 441
10.4. Dimensiunile înfășurărilor 453
10.4.1. Dimensiunile conductorului de bobinaj 454
10.4.2. Dimensiunile mănunchiului bobinei 455
10.4.3. Dimensiunile bobinelor înfășurărilor tip indus de curent continuu 462
10.4.4. Dimensiunile bobinelor înfășurărilor de curent alternativ 470

10.5. Executarea bobinelor 483
10.5.1. Confecționarea bobinelor; șabloane și dispozitive . . 483
10.5.2. Confecționarea bobinelor moi; șabloane de bobinaj . . 484
10.5.3. Confecționarea bobinelor semitari; șabloane și dispozitive 495
10.5.4. Confecționarea bobinelor tari (rigide); șabloane și dispozitive 500
10.5.5. Confecționarea bobinelor cu transpoziții 504
10.6. Izolarea bobinelor înainte de introducerea lor în crestătură . 507
10.6.1. Izolarea bobinelor cu bandă 507
10.6.2. Izolarea cu folii a porțiunii drepte a bobinelor . . . 512
10.7. Introducerea bobinelor în crestătură; bobinarea 516
10.7.1. Etapele procesului tehnologic de bobinare 516
10.7.2. Pregătirea miezului magnetic în vederea bobinării . . 516
10.7.3. Izolarea miezului feromagnetic 517
10.7.4. Introducerea bobinelor în crestături 523
10.8. Executarea legăturilor și conexiunilor înfășurărilor 539
10.8.1. Executarea legăturilor la colectorul mașinilor de curent continuu 539
10.8.2. Executarea legăturilor și conexiunilor înfășurărilor de curent alternativ 540
10.9. Consolidarea înfășurărilor 546
10.9.1. Sisteme de consolidare a înfășurărilor 546
10.9.2. Construcția, calculul și executarea bandajelor de consolidare 551
10.10. Încercări la execuția înfășurărilor 553
10.10.1. Încercarea și controlul izolației 554
10.10.2. Încercarea izolației conductorului de bobinaj . . . 554
10.10.3. Controlul bobinelor prefabricate 555
10.10.4. Verificarea legăturilor între bobinele aceleiași căi de curent în timpul execuției 557
10.10.5. Încercarea izolației înfășurărilor așezate în crestături . 563
10.11. Defectele înfășurărilor repartizate și repararea acestora în timpul execuției 568
10.11.1. Scurtcircuitul între spire 568
10.11.2. Punerea la masă 569
10.12. Impregnarea, acoperirea și compundarea bobinelor și înfășurărilor mașinilor electrice 569
10.12.1. Pregătirea bobinelor și înfășurărilor pentru operațiile de impregnare sau compundare 571
10.12.2. Impregnarea și acoperirea înfășurărilor 575
10.12.3. Compundarea bobinelor 583
10.13. Stabilirea defectelor înfășurărilor repartizate la mașinile montate 587
10.13.1. Influența defectelor înfășurărilor asupra caracteristicilor de funcționare ale mașinilor electrice 588
10.13.2. Stabilirea tipului de defect, a locului defectului și înlăturarea acestuia 593

10.14. Echilibrarea rotoarelor 597
10.14.1. Echilibrarea statică 598
10.14.2. Echilibrarea dinamică 600
10.14.3. Gradul de echilibrare al rotoarelor 602

11. **Utilajele atelierului de bobinat mașini electrice de puteri mici și mijlocii** 603

11.1. Aparate de măsurat, instalații auxiliare și dispozitive pentru executarea și încercarea înfășurărilor mașinilor electrice . . . 604
11.2. Sculele și utilajele principale ale atelierului de bobinaj . . 610
11.3. Surse de alimentare cu energie electrică 612
11.4. Organizarea lucrului în ateliere 613

Anexe 615

Bibliografie 659

1. Construcția mașinilor electrice

1.1. CARACTERISTICILE CONSTRUCTIVE ALE MAȘINILOR ELECTRICE

1.1.1. Tipurile de mașini electrice

Mașinile electrice folosite pentru producerea energiei electrice sînt denumite *generatoare electrice*. Mașinile electrice utilizate pentru transformarea energiei electrice în energie mecanică, sînt denumite *motoare electrice*.

Mașina electrică este reversibilă : poate lucra fie în regim de generator electric, fie în regim de motor electric.

O mașină electrică poate funcționa și în *regim de frînă* ; în acest caz mașina primește putere mecanică și putere electrică și le transformă în căldură.

După felul tensiunii de alimentare sau a tensiunii pe care o produc la borne, mașinile electrice se clasifică astfel :

— *mașini electrice de curent continuu,* utilizate în rețelele de curent continuu ;

— *mașini electrice de curent alternativ,* utilizate în rețelele de curent alternativ ;

— *mașini electrice universale,* care se pot utiliza atît în rețelele de curent continuu, cît și în rețelele de curent alternativ.

Mașinile de curent continuu și mașinile de curent alternativ se utilizează fie ca generatoare, fie ca motoare. Mașinile electrice universale funcționează de obicei ca motoare.

În cadrul fiecăreia dintre grupele arătate, mașinile electrice generatoare și cele motoare pot diferi între ele după schema de conexiuni a înfășurărilor, după principiul de funcționare sau după construcția lor. Astfel, mașinile de curent continuu au caracteristici de funcționare diferite, corespunzătoare schemei de conexiuni a înfășurării de excitație în raport cu circuitul indusului.

Mașinile de curent alternativ la care inductorul se învîrtește sincron cu cîmpul magnetic învîrtitor se numesc *mașini sincrone* ; tura-

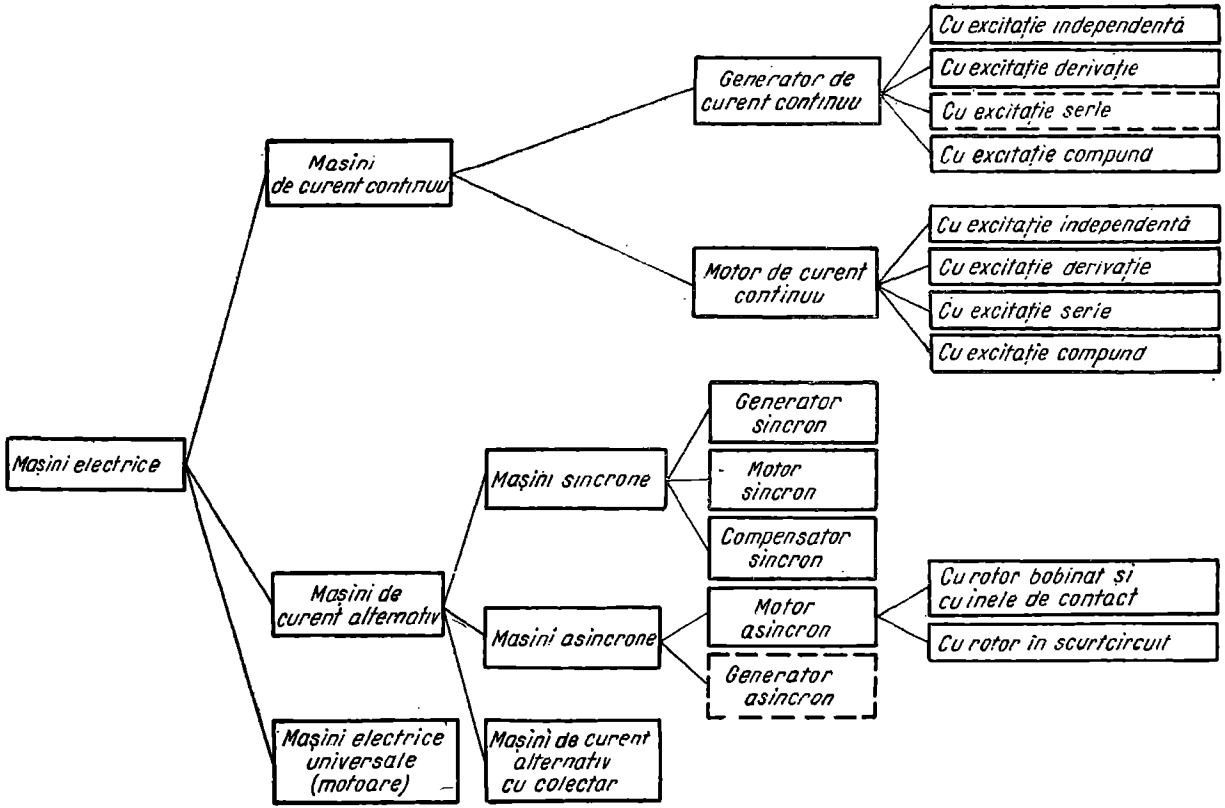


Fig. 1.1. Clasificarea principalelor tipuri de mașini electrice.

ția mașinii sincrone depinde numai de frecvența tensiunii alternative la bornele indusului și de numărul de poli ai mașinii.

Mașinile de curent alternativ la care rotorul se învîrtește cu o turație diferită de turația cîmpului magnetic inductor (mai mică sau mai mare decît turația sincronă) se numesc *mașini asincrone*. Turația mașinilor asincrone variază cu sarcina.

În schema din fig. 1.1 este reprezentată o clasificare a principalelor tipuri de mașini electrice normale, după felul tensiunii de alimentare și după principiul lor de funcționare. Tipurile de mașini electrice încadrate în dreptunghiuri din linii întrerupte se întîlnesc mai rar în exploatare.

1.1.2. **Elementele constructive ale mașinilor electrice**

Din punct de vedere constructiv mașinile electrice sînt construite din două subansamble principale : statorul și rotorul ; excepție fac mașinile cu o singură armătură. Diferitele piese sau subansamble care compun mașinile electrice pot fi subîmpărțite astfel :

— părțile active ale mașinii, în care au loc procesele magnetice și electrice pentru producerea cuplului în mașină ;

— părțile inactive ale mașinii, care asigură asamblarea, susținerea, consolidarea și protecția mecanică a părților active.

Părțile active ale mașinilor electrice sînt :

— miezurile feromagnetice, care se execută din tablă silicioasă sau din oțel turnat (miezul polilor, jugul polilor) sau chiar din fontă (jugul polilor la mașinile de curent continuu), formînd circuitul magnetic al mașinii ;

— înfășurările, care se execută din conductoare de cupru sau de aluminiu, formînd circuitul electric al mașinii.

Mașinile electrice, indiferent de tip, au în componența lor o serie de elemente (sau subansamble) similare din punct de vedere constructiv sau funcțional. În figurile 1.2, 1.3 și 1.4 sînt reprezentate subansamblele constructive principale și secțiunile longitudinale prin cîteva mașini electrice de putere mijlocie.

Miezul feromagnetic al unei mașini este format din miezul statorului *1* și miezul rotorului *2* ; prin miezul feromagnetic se închide cîmpul magnetic din mașină.

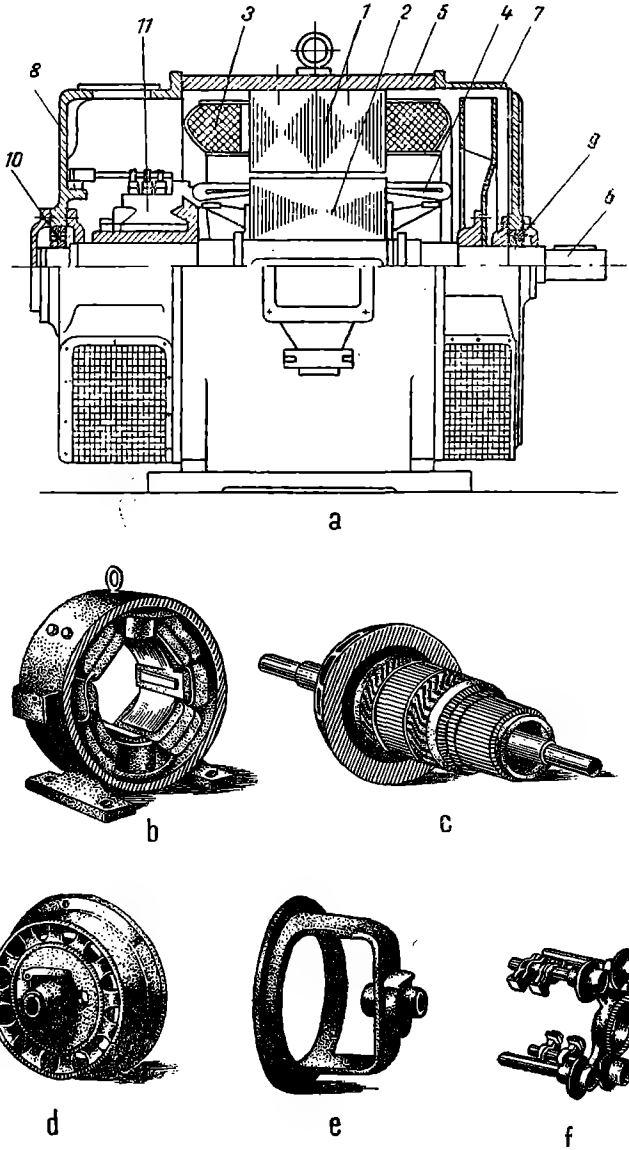


Fig. 1.2. Mașină de curent continuu :

a — secțiune longitudinală; *b* — stator; *c* — rotor; *d* și *e* — scuturi; *f* — suportul portperiilor.

Între stator și rotor se prevede un spațiu liber, denumit întrefier, pentru a permite mișcarea rotorului ; lărgimea întrefierului se stabilește în funcție de tipul și puterea mașinii.

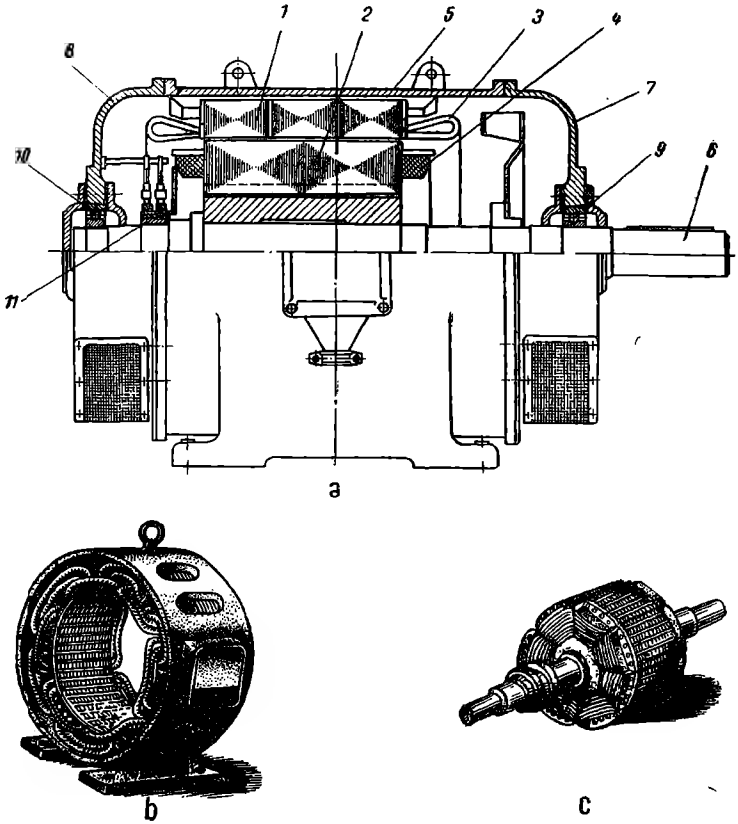
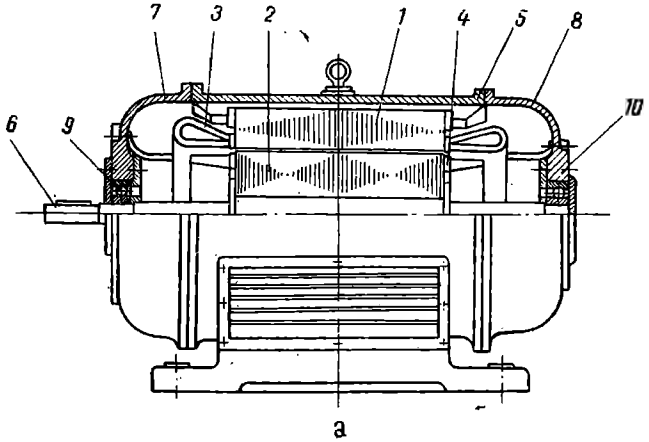
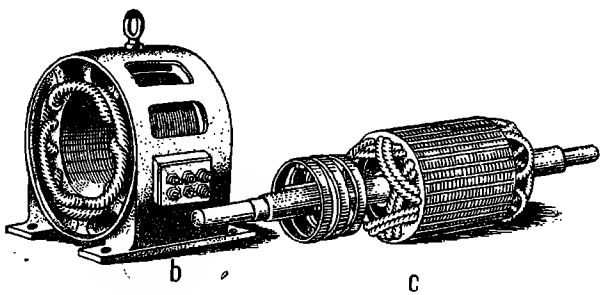


Fig. 1.3. Mașină sincronă :
a — secțiune longitudinală; *b* — stator; *c* — rotor.

Diferite forme constructive de tole din tablă silicioasă utilizate în construcția miezului feromagnetic al mașinilor electrice sînt reprezentate în fig. 1.5.

La *mașina de curent continuu* reprezentată în fig. 1.2, statorul are miezul feromagnetic format din polii principali, polii auxiliari și din jug. Polii se pot executa din oțel turnat sau din tole care au de cele mai multe ori forma reprezentată în fig. 1.5, *a*. Rotorul





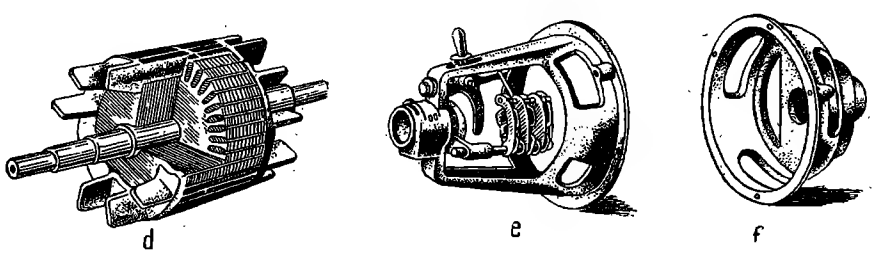


Fig. 1.4. Mașină asincronă.:

a — secțiune longitudinală; *b* — stator; *c* — rotor bobinat; *d* — rotor în scurtcircuit; *e* și *f* — scuturi portpalier.

aceleiași mașini are miezul feromagnetic format dintr-unul sau din mai multe pachete de tole circulare (fig. 1.5, *b*). Tolele rotorului sînt așezate pe arbore, direct sau prin intermediul unui butuc, iar pe periferia lor, la unghiuri egale, sînt practicate crestăturile.

Pe miezul polilor este așezată *înfășurarea de excitație 3*, formînd împreună cu acesta *inductorul* mașinii ; în crestăturile miezului magnetic din rotor este așezată înfășurarea *4*, legată la colectorul *11* împreună cu care formează *indusul* mașinii.

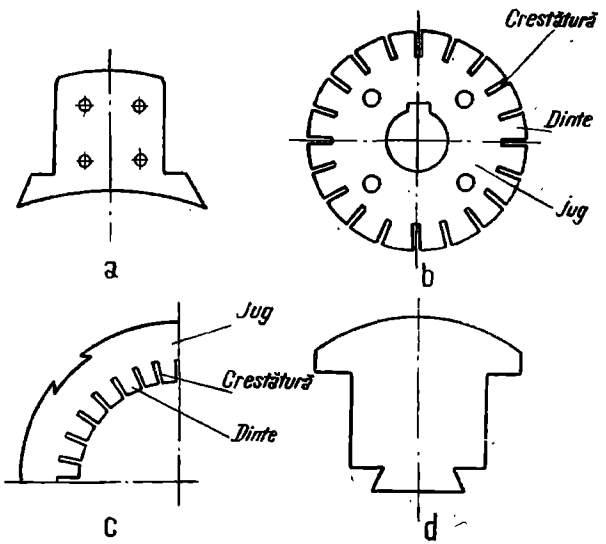


Fig. 1.5. Tipuri de tole pentru confecționarea miezurilor feromagnetice la mașinile electrice.

La *mașinile sincrone*, de construcție normală (fig. 1.3), miezul feromagnetic al statorului este construit din tole circulare întregi sau secționate (segmente), prevăzute cu crestături pe circumferința interioară (fig. 1.5, *c*), iar miezul rotorului se execută din tole avînd forma din fig. 1.5, *d*. În crestăturile tolelor pachetului din stator este așezată înfășurarea indusului. Pe miezul polilor din rotor este așezată înfășurarea de excitație *4*.

În cazul construcției inverse (cu polii pe stator), miezul polilor este confecționat din tole de forma celor utilizate la mașinile de curent continuu (fig. 1.5, *a*), fixate de jugul inductor, care este exe-

cutat de cele mai multe ori din oțel turnat formînd și carcasa mașinii. Rotorul are miezul din tole de forma celor din fig. 1.5, *b*, utilizate și la mașinile de curent continuu, în crestăturile rotorului este așezată înfășurarea de curent alternativ.

Miezul feromagnetic al *motorului asincron* (fig. 1.4) este executat din tole circulare de forma celor indicate în fig. 1.5, *c* (pentru stator) și fig. 1.5, *b* (pentru rotor). În crestăturile celor două pachete de tole sînt introduse înfășurările motorului.

Colectorul 11 al mașinilor de curent continuu (fig. 1.2) servește la redresarea tensiunii alternative ce se produce în înfășurarea indusului (transformînd-o într-o tensiune continuă). În construcția mașinilor de curent alternativ cu colector și a mașinilor universale de asemenea se folosesc colectoare.

Inelele de contact 11 (fig. 1.3) se folosesc la orice mașină electrică unde este necesar să se transmită curentul electric prin conducție de la piese fixe la înfășurări în mișcare. Astfel, la mașinile de curent alternativ trifazate cu rotorul bobinat (sincrone de construcție inversă și asincrone cu rotorul bobinat) există trei inele pentru cele trei faze ; ele sînt parcurse de curentul alternativ rotoric. Mașinile sincrone de construcție normală, adică cele cu polii inductorului pe rotor, sînt prevăzute cu două inele de contact pentru alimentarea înfășurării de excitație de la sursa de curent continuu.

Tipurile de colectoare ca și periile mașinilor electrice și inelele de contact se tratează în cap. 8.

Elementele inactive cele mai importante, întîlnite de regulă în construcția mașinilor electrice, sînt : carcasa, arborele, scuturile, lagărele și ventilatorul.

Carcasa 5 (fig. 1.2, 1.3 și 1.4) servește la fixarea pachetului de tole din stator. La mașinile de curent continuu (fig. 1.2, *b*) și la mașinile sincrone de construcție inversă, carcasele îndeplinesc și rolul de jug magnetic. La mașinile asincrone sau la mașinile sincrone de construcție normală, carcasele nu fac parte din circuitul magnetic și se execută fie din fontă (sau aluminiu turnat la mașinile mici), fie din tablă groasă sudată.

Arborele mașinii notat cu *6* servește la transmiterea cuplului mecanic. Pe el este fixat miezul magnetic al rotorului care poartă înfășurarea de excitație sau înfășurarea rotorului ; împreună cu acestea el constituie rotorul mașinii.

Scuturile 7 și *8* sînt dispuse în părțile frontale ale carcasei. La mașinile electrice de puteri mici și mijlocii, pe scuturi sînt montate

lagărele 9 și *10*. În aceste cazuri, scuturile servesc totodată și la centrarea rotorului mașinii.

Ventilatoarele 12 asigură circulația mediului de răcire (aer, hidrogen), prin mașină.

1.2. TIPURILE DE ÎNFĂȘURĂRI

După rolul lor în funcționarea mașinilor electrice, înfășurările sînt denumite :

a) înfășurări de excitație care servesc la producerea cîmpului magnetic inductor ;

b) înfășurări ale indusului, în care se induc tensiuni electromotoare.

Înfășurările de excitație ale mașinilor de curent continuu se dispun concentrat pe miezul polilor așezați în statorul mașinii și se numesc *înfășurări concentrate.*

Înfășurările concentrate se întîlnesc și în construcția mașinilor sincrone, avînd de asemenea funcțiunea de înfășurări de excitație. În construcția mașinilor sincrone înfășurările de excitație pot fi așezate pe rotor sau pe stator (construcție inversă).

În construcția mașinilor sincrone, înfășurările de excitație pot fi așezate și în crestături dispuse simetric în raport cu axa polului, după cum se arată în fig. 1.6.

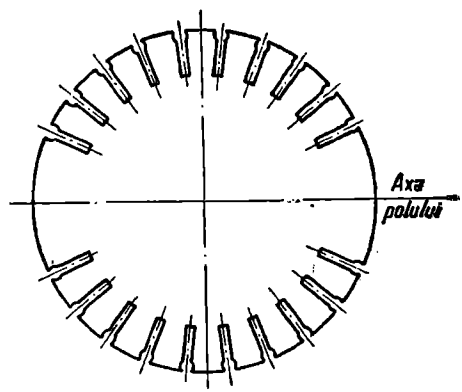


Fig. 1.6. Dispunerea crestăturilor la turbogeneratoarele sincrone.

Asemenea poli se numesc *poli înecați* și se folosesc de obicei în construcția mașinilor sincrone cu o singură pereche de poli ($n = 3\,000$ rot/min) (turbogeneratoare).

Înfășurările indusului mașinii de curent continuu, ale indusului mașinii sincrone, ca și înfășurările din statorul și rotorul mașinilor asincrone, sînt distribuite în crestăturile practicate în miezurile magnetice ; ele se numesc *înfășurări repartizate.*

După conexiunile care se realizează între bobine, înfășurările indusului mașinilor de curent continuu se deosebesc de înfășurările

de curent alternativ ale mașinilor sincrone și asincrone. Din această cauză, înfășurările rotoarelor mașinilor de curent continuu ca și ale rotoarelor mașinilor de curent alternativ cu colector se numesc *înfășurări tip indus de curent continuu.*

După construcția lor, înfășurările se pot clasifica deci în următoarele tipuri constructive :

— înfășurări concentrate ;
— înfășurări tip indus de curent continuu ;
— înfășurări tip de curent alternativ.

2. Conductoare și materiale izolante folosite la construcția înfășurărilor

2.1. CONDUCTOARE DE BOBINAJ IZOLATE

În construcția înfășurărilor se folosesc conductoare de bobinaj cu următoarele tipuri de izolație :

— izolație textilă ;
— izolație din hîrtie ;
— email izolant ;
— combinații de izolație textilă și email izolant.

Izolația textilă

Izolația textilă a conductoarelor se realizează din fire sau țesături de bumbac, mătase naturală, sticlă sau azbest.

Izolații din fire sau țesături de bumbac. Sînt standardizate următoarele tipuri de izolații continue realizate din fire de bumbac :

B : Izolație într-un strat, realizată prin înfășurarea fir lîngă fir a firelor textile de-a lungul conductorului.

BB : Izolație în două straturi, fiecare din acestea fiind obținute prin înfășurarea firelor textile de-a lungul conductorului, fir lîngă fir. În cele două straturi, sensul de înfășurare al firelor este diferit.

3B : Izolație în trei straturi, realizată prin adăugarea unui strat de bumbac peste izolația BB, sensul de înfășurare al acestui strat fiind invers cu acel al stratului precedent.

T : Izolație sub formă de țesătură din fire de bumbac, îmbrăcînd în mod uniform și continuu conductorul.

BT : Izolație din țesătură din fire de bumbac așezată peste o izolație de tipul B.

BBT : Izolație realizată din țesătură din fire de bumbac așezată peste o izolație de tipul BB.

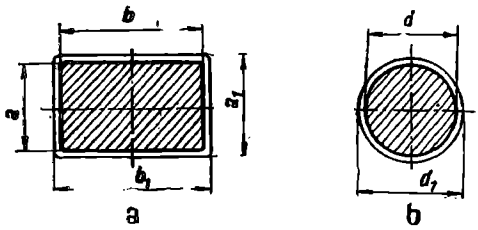


Fig. 2.1. Conductor cu izolație din fire de bumbac.

Prin învelirea conductorului cu fire de bumbac, dimensiunile acestuia cresc în raport cu acelea ale conductorului neizolat (blanc), așa cum se arată în fig. 2.1.

În tabelele 2.1 și 2.2 sînt date grosimile izolației de bumbac pentru conductoarele rotunde, respectiv dreptunghiulare ; dimensiunile d, d_1, a, a_1, b, b_1 au semnificația din fig. 2.1.

Izolația din țesătură de bumbac (bandă) este o izolație discontinuă, care se aplică după caz prin învelirea conductorului (de obicei de secțiune mare). Deoarece în timpul execuției anumitor bobine rezistența mecanică a izolației nu este suficientă, existînd pericolul ca ea să se deterioreze, se obișnuiește ca izolarea cu bandă de bumbac să se facă după formarea bobinei.

Benzile de bumbac sînt țesături de lățime 15—50 mm subțiri și de rezistență mecanică ridicată.

Izolație din fire de mătase. Cu fire de mătase se pot realiza, în general, aceleași tipuri de izolații ca și în cazul bumbacului ; în mod uzual se întîlnesc următoarele tipuri :

— izolația tip M, la care conductorul este acoperit cu un strat de fir de mătase înfășurat în jurul conductorului ;

— izolația tip MM, la care izolația se compune din două straturi executate la fel ca izolația BB, prin înfășurarea în sensuri opuse a firelor textile de mătase.

În tabela 2.3 sînt date supraîngroșările conductoarelor izolate cu mătase în ambele variante M și MM, notațiile din tabelă avînd semnificația din fig. 2.1.

Tabela 2.1

Grosimea izolației de bumbac a conductoarelor rotunde de bobinaj (extras din STAS 541-59)

Izolația		Diametrul d al conductorului, mm (fig. 2.1)							
		0,10—0,18	0,19—0,29	0,30—0,48	0,50—0,75	0,80—1,45	1,50—2,90	3,00—3,80	4,0—6,0
Compunerea izolației	Simbolul	Grosimea izolației: d_1—d mm (fig. 2.1)							
1×înfășurare	B	0,1	0,1	0,12	0,12	0,12	0,15	—	—
2×înfășurare	BB	0,16	0,16	0,20	0,22	0,22	0,26	0,30	0,40
3×înfășurare	3B	—	—	—	—	0,36	0,40	0,50	0,50
1×împletitură	T	—	—	—	—	0,45	0,45	0,50	0,50
1×înfășurare 1×împletitură	BT	—	—	—	—	0,55	0,60	0,60	0,60
2×înfășurare 1×împletitură	BBT	—	—	—	—	0,70	0,70	0,80	0,90

Tabela 2.2

Grosimea izolației de bumbac a conductoarelor dreptunghiulare de bobinaj (extras din STAS 541-59)

Izolația		Grosimea a (fig. 2.1), în mm		
		0,85—1,95	2,0—3,8	4,0—6,0
Compunerea izolației	Simbolul	Grosimea izolației a_1—a sau b_1—b (fig. 2.1), în mm		
1×înfășurare	B	0,14	0,175	0,23
2×înfășurare	BB	0,25	0,30	0,40
3×înfășurare	3B	0,41	0,53	0,54
1×împletitură	T	0,45	0,50	0,50
1×înfășurare 1×împletitură	BT	0,73	0,73	0,73
2×înfășurare 1×împletitură	BBT	0,88	0,88	0,88

Izolația din fire de sticlă. Firele de sticlă au o rezistență de rupere mare la întindere, în schimb rezistența la forfecare este redusă.

Pentru izolarea conductoarelor se folosesc firele și benzile de sticlă.

Tabela 2.3

Grosimea izolației de mătase a conductoarelor de bobinaj (extras din STAS 541-59)

Izolația		Grosimea a sau diametrul d al conductorului, mm (fig. 2.1)		
		0,30—0,18	0,19—0,48	0,5—0,75
Compunerea izolației	Simbolul	Grosimea medie a izolației: a_1—a; d_1—d, mm (fig. 2.1)		
1×înfășurare	M	0,035	0,040	0,040
2×înfășurare	MM	0,070	0,070	0,080

Din fire de sticlă se realizează următoarele tipuri de izolații pentru conductoarele de bobinaj (conform N. I. 1046-61):

2S — Izolație în două straturi realizată prin înfășurarea firului de sticlă în două straturi a conductorului de secțiune circulară.

P2S — Izolație în două straturi a conductorului de secțiune dreptunghiulară.

PST — Izolație în două straturi realizată prin înfășurarea unui strat din fire de sticlă și învelirea într-un strat a țesăturii de sticlă pentru conductorul de secțiune dreptunghiulară.

În tabela 2.4 sînt date grosimile maxime ale izolațiilor cu fire de sticlă la conductorul rotund, respectiv dreptunghiular, notațiile din tabelă fiind explicate în fig. 2.1.

Tabela 2.4

Grosimea maximă a izolației din fire de sticlă la conductoarele rotunde, respectiv dreptunghiulare

Dimensiunile d, a și b ale conductorului (fig. 2.1) mm	Tipul izolației			
	2S	P2S	PST	
	Grosimea maximă a izolației, în mm			
	(d_1—d)	(a_1—a)	sau	(b_1—b)
0,8 ... 1,0	0,23	—		—
1,05 ... 1,55	0,27	—		—
1,60 ... 2,10	0,27	—		—
2,20 și mai mare	0,33	—		—
0,9 ... 1,95	—	0,27		0,5
2,10 ... 3,80	—	0,33		—
4,10 ... 5,50	—	0,40		—

Pentru ca izolația din firele de sticlă a conductoarelor să nu se distrugă în timpul manipulării, se utilizează ca liant un lac termorezistent, din clasa de izolație B, F sau H.

Benzile din fire de sticlă utilizate la izolarea conductoarelor profilate au grosimea de 0,1 mm, iar lățimea cuprinsă între 8 și 25 mm.

Izolația din hîrtie

Hîrtia întrebuințată pentru izolarea conductoarelor de bobinaj este hîrtia de cablu sau hîrtia telefonică.

Izolația din hîrtie se obține prin înfășurarea de-a lungul conductorului a două sau mai multe straturi de hîrtie fiecare strat formînd, ca și izolația din bandă de țesătură, o izolație discontinuă.

Straturile de hîrtie se înfășoară pe conductor în același sens, pentru a-i da conductorului o flexibilitate mai mare. În cazul unui număr mai mare de straturi de hîrtie (peste trei) și atunci cînd conductorul izolat urmează să fie folosit la tensiuni de serviciu nominale ridicate, pentru evitarea eventualelor discontinuități în izolație prin derularea hîrtiei izolante, straturile de hîrtie se înfășoară în sensuri diferite de la strat la strat.

Izolația din hîrtie a conductoarelor de secțiune dreptunghiulară este consolidată printr-un fir de bumbac înfășurat în sens invers sensului de înfășurare al hîrtiei.

Grosimea izolației de hîrtie pentru conductoarele rotunde utilizate în construcția înfășurărilor mașinilor electrice este indicată în tabela 2.5, conform STAS 6163-60.

Tabela 2.5

Grosimea izolației de hîrtie la conductoarele rotunde de cupru (extras din STAS 6163-60)

Numărul×grosimea benzilor de hîrtie mm	Diametrul conductorului, mm (fig. 2.1)	
	1,00—2,10	2,20—5,20
	Grosimea izolației (d_1-d), în mm	
2×0,05	0,20±0,03	—
2×0,05 + 1×0,12	0,44±0,05	0,44±0,05
3×0,05	0,30±0,06	0,30±0,06
3×0,05 + 1×0,12	0,45±0,08	0,54±0,08

Conductoare emailate și emailuri pentru izolarea conductoarelor

Izolația de email a conductoarelor de bobinaj de bună calitate trebuie să îndeplinească următoarele condiții :

— grosimea să fie uniformă și corespunzătoare valorilor garantate ;

— pelicula de email să fie continuă ;

— culoarea să fie uniformă ;

— să prezinte rezistență la acțiunea acizilor sau bazelor, cu excepția solvenților indicați pentru fiecare caz în parte ;

— caracteristicile electrice (în special rigiditate dielectrică) și fizico-mecanice (elasticitate, aderență ș. a.) să fie uniforme și corespunzătoare valorilor garantate.

După natura lacului din care se execută, emailurile pentru izolarea conductoarelor de bobinaj se împart în două grupe mari :

— emailuri pe bază de uleiuri vegetale ;

— emailuri pe bază de rășini sintetice.

Emailuri pe bază de uleiuri vegetale. În această categorie intră emailurile ce au la bază uleiurile vegetale și anume : uleiul de tung, uleiul de in, uleiul de ricin și combinații ale acestora.

La fabricarea lacurilor pentru emailuri, uleiurile vegetale se amestecă cu substanțe sicative (care ușurează uscarea) și cu pigmenți coloranți.

Emailurile realizate cu aceste lacuri fac parte din clasa de izolație A.

Cel mai răspîndit email din această grupă este emailul pe bază de ulei de tung amestecat cu ulei de in ; el se folosește la conductoarele rotunde de bobinaj, pentru toată gama dimensiunilor standardizate.

Pentru conductoarele de bobinaj de secțiuni reduse, cu diametrul cuprins între 0,05 și 0,30 mm, se folosește emailul pe bază de ulei de ricin.

La conductoarele rotunde grosimea peliculei de email pe bază de uleiuri vegetale corespunde valorilor date în tabela 2.6.

Emailuri pe bază de rășini sintetice. Aceste emailuri au înlocuit în ultimul timp o mare parte din emailurile pe bază de uleiuri vegetale datorită proprietăților lor termice și mecanice superioare.

La fabrica de cabluri și Materiale Electroizolante FCME din București se produc următoarele sortimente de conductoare de bobinaj izolate :

Tabela 2.6

Grosimea maximă a izolației de email, la conductoarele rotunde de bobinaj (NI 732-60)

Izolația conductorului	Simbol	Diametrul conductorului mm	Grosimea izolației d_1 d_2 în mm (fig. 2.1)
Email tereftalic	ET	0,10—0,21	0,02
		0,22—0,26	0,03
		0,27—0,48	0,04
Email poliamidic și Email poliuretanic	EP și EU	0,40—0,48	0,04
Email tereftalic	ET	0,50—0,70	0,05
Email poliamidic și	EP	0,75—0,95	0,06
Email poliuretanic	și	1,00—1,75	0,08
	EU	1,80—1,95	0,09
		2,00—2,40	0,10

— cu email poliamidic (de tipul izorelon, care are o aderență foarte bună și pe aluminiu) ;

— cu emailpoliuretanic ;

— cu email tereftalic.

Grosimile peliculei de email pentru aceste tipuri de conductoare sînt date în tabela 2.6 pentru conductoare rotunde și în tabela 2.7 pentru conductoare dreptunghiulare.

Conductoare izolate cu email și izolație textilă

Conductoarele de bobinaj se izolează uneori cu o izolație mixtă : email și izolație textilă (bumbac, mătase sau sticlă). Emailul utilizat pentru izolație este pe bază de uleiuri vegetale sau rășini sintetice.

În tabela 2.8 sînt date grosimile izolației unor conductoare de bobinaj rotunde izolate cu email și mătase care se fabrică la FCME.

Pentru scopuri speciale se pot executa conductoare cu izolație formată dintr-o peliculă de email pe bază de rășini sintetice cu un strat superior de izolație din fire de sticlă. În acest caz se utilizează un email pe bază de rășini sintetice, ansamblul încadrîndu-se în clasele de izolație B, F sau H.

Grosimea maximă a_1a sau b_1b a izolației de email a conductoarelor dreptunghiulare (C.S. 1004-61)

Izolația conductorului	Simbol	Lățimea b a conductorului mm	Grosimea a a conductorului, mm (fig. 2.1)																		
			0,83	0,90	1,00	1,08	1,16	1,25	1,35	1,45	1,50	1,56	1,68	1,81	1,95	2,00	2,10	2,26	2,44	2,50
Email tereftalic	PET	2,1								—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2,25									—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2,44											—	—	—	—	—	—	—	—
		2,63												—	—	—	—	—	—	—
		2,83													—	—	—	—	—	—
		3,05		0,09													—	—	—	—
		3,28					0,10											—	—	—
		3,53																	—	—
		3,80											0,11							
		4,10																		
		4,20																0,12		
		4,40																		
		4,50																	—	—

Tabela 2.8

Grosimea izolației conductoarelor rotunde de bobinaj, izolate cu email și mătase

Compunerea izolației	Simbol	Diametrul d al conductorului, mm (fig. 2.1)			
		0,15	0,16—0,2	0,21—0,4	0,42—0,5
		Grosimea maximă a izolației (stratul de email+stratul de mătase) d_1, d, mm (fig. 2.1)			
Email + mătase 1×înfășurare	EM	0,06	0,07	0,08	0,09
Email + mătase 2×înfășurare	EMM	0,10	0,10	0,11	0,12

În tabela 2.9 sînt date grosimile izolației conductoarelor de bobinaj (cu izolație de email și fire de sticlă) de secțiune circulară și respectiv de secțiune dreptunghiulară fabricate de FCME.

Tabela 2.9

Grosimea maximă (mm), a izolației conductorului de bobinaj cu izolație email și sticlă (N.I. 1046-61); notațiile d_1, d, a_1, a, b_1, b sînt conform fig. 2.1

Dimensiunile conductorului d, a, b, (fig. 2.1)	Tipul izolației			
	ES	E2S	PE2S	
	Grosimea maximă a izolației mm			
	(d_1,d)		(a_1,a)	(b_1,b)
0,8 ... 1,0	0,24	0,27	—	—
1,05 ... 1,55	0,24	0,30	—	—
1,60 ... 2,10	0,27	0,30	—	—
2,20 și mai mare	—	—	—	—
0,9 ... 1,95	—	—	0,5	—
2,10 ... 3,80	—	—	0,5	—
4,10 ... 5,50	—	—	—	—

Conductoare de bobinaj cu izolație din polietilenă

Pentru utilizări speciale, de exemplu pentru motoare submersibile (la pompe submersibile de apă) se folosesc conductoare de bobinaj cu izolație din polietilenă, produsul avînd o mare rezistență la acțiunea apei.

2.2. MATERIALE ELECTROIZOLANTE ÎNTREBUINȚATE LA IZOLAREA ÎNFĂȘURĂRILOR

Tipuri și clasificări

Materialele electroizolante utilizate la confecționarea înfășurărilor se prezintă sub formă de foi sau plăci, țesături sau benzi textile, materiale stratificate, prafuri de presare etc.

După natura lor, ele pot fi grupate astfel :

— hîrtia și cartonul electrotehnic ;
— țesături și benzi textile neimpregnate și impregnate ;
— folii și benzi sintetice ;
— prafuri de presare ;
— materiale plastice stratificate ;
— lemnul ;
— mica și produsele din mică ;
— izolații combinate.

Hîrtia și cartonul electrotehnic

Hîrtia electroizolantă

Tipurile de hîrtii electrotehnice neimpregnate utilizate în mașinile electrice sînt : hîrtia de cablu, hîrtia telefonică, hîrtia pentru pertinax și hîrtia pentru micabandă și pentru micafoliu.

Cu excepția hîrtiei pentru micabandă, care se obține mai ales din fibre de bumbac, toate celelalte sortimente de hîrtii electrotehnice se fabrică din celuloză sulfat fără adaosuri.

Hîrtiile de cablu se fabrică în grosimi de 0,04 ... 0,12 mm. Datorită caracteristicilor lor mecanice bune, ele se folosesc ca izolații pentru conductoarele în bare, pentru bobine concentrate etc.

Hîrtia folosită pentru confecționarea pertinaxului sub formă de plăci, de piese izolante cu profile speciale sau tuburi, are o rezistență mare la îndoiri și o capacitate mare de absorbție a lacului de impregnare. Ea se fabrică în grosimi de 0,05, 0,07 și 0,13 mm.

Hîrtia pentru micafoliu și micabandă ca și hîrtia de cablu trebuie să aibă caracteristici mecanice bune. La hîrtia pentru micabandă se cere și o bună rezistență la sfîșiere. Ele se fabrică cu grosimea de 0,02 mm.

În general hîrtiile se folosesc impregnate, impregnarea executîndu-se de regulă o dată cu împregnarea bobinelor sau înfășurări-

lor gata confecționate. Uneori hîrtiile se impregnează în prealabil, cum este cazul hîrtiilor lăcuite (cu lacuri uleioase sau oleo-rășinoase) și a hîrtiilor bachelizate (hîrtii de pertinax); prelucrarea lor se face între plăci calde, pentru piese mici (fierul de călcat), urmînd apoi întărirea la temperaturi pînă la 140 °C. Grosimile hîrtiilor gata impregnate variază între 0,03 și 0,12 mm.

Pentru reducerea higroscopicității, hîrtia sulfat se acetilează, obținîndu-se sortimentul cunoscut sub denumirea de hîrtie acetilată. Acest tip de hîrtie este folosit pentru confecționarea izolațiilor în crestătură ale înfășurărilor mașinilor electrice, pentru izolații la capetele de bobină, precum și în construcția bobinelor polare. Hîrtia acetilată se fabrică în grosimi de 0,06 pînă la 0,12 mm.

Preșpanul sau cartonul electrotehnic. Preșpanul se obține din celuloză sulfat. El se fabrică sub forme de foi (coale) de grosime 0,25—2 mm de culoare cenușie (tipul C, utilizat pentru izolații de crestătură în mașinile electrice), de culoare galbenă (tipul M, utilizat în general în mașinile electrice) sau de culoarea corespunzătoare materialului fibros (tipul T, utilizat pentru transformatoare).

Ca aspect, preșpanul este bine presat și lustruit. Fiind un material pe bază de celuloză, preșpanul neimpregnat se încadrează în clasa de izolație Y, iar cel impregnat în clasa de izolație A. Poate fi folosit ca atare în cadrul izolațiilor de clasă A, precum și în componența unor izolații de clasă superioară clasei A, dar numai ca suport mecanic și impregnat cu lacuri corespunzătoare clasei de izolație respective.

Țesături și benzi textile

Țesăturile și benzile textile se obțin din fire de bumbac, de mătase naturală, de mătase artificială, din fire poliamidice, poliesterice, din fire de sticlă și din fire de azbest.

Țesături și benzi neimpregnate

Principalele tipuri de țesături și benzi din fire de bumbac sînt următoarele:

— țesătură de serj, cu grosimea de 0,54 mm;
— țesătură de pînză, cu grosimea de 0,26 mm;
— țesătura de batist, cu grosimea de 0,22 mm.

Din fire de mătase se execută țesătura de mătase *excelsior*, cu grosimea de 0,15 mm. Țesăturile de mătase naturală și artificială, pot avea și grosimi mai mici (pînă la 0,04 mm).

Țesăturile și benzile din fire poliamidice (de tip nailon, capron, perlon) se remarcă printr-o mare rezistență la abraziune, au o rezistență mecanică mai mare ca bumbacul și mătasea și o mare elasticitate. Se fabrică în grosimi de 0,03—0,05 mm.

Țesăturile și benzile din fire poliesterice (terilen) au grosimea minimă de 0,07 mm. Ele au o mare elasticitate și rezistență mecanică, o bună comportare la umiditate ridicată și prezintă o stabilitate termică superioară.

Țesăturile și benzile din fire de sticlă au o largă utilizare la înfășurările cu temperaturi de funcționare ridicate, cu solicitări mecanice (la întindere) mari și condiții de umiditate ridicate. Se fabrică în grosimi de la 0,05—0,80 mm.

Țesăturile și benzile din fire de azbest se folosesc la temperaturi de funcționare ridicate, acolo unde grosimile de izolație pot fi mai mari și solicitările mecanice nu sînt prea ridicate. Se fabrică în grosimi de 0,75 ... 1,30 mm.

Țesături și benzi impregnate

Principalele tipuri de țesături impregnate și lăcuite sînt date în tabela 2.10.

Tipurile de lacuri electroizolante utilizate la impregnarea diferitelor sortimente de țesături depind de natura materialului țesăturii și de clasa de izolație dorită. De obicei, se folosesc tipuri de lacuri indicate în tabela 2.14.

Benzile impregnate și lăcuite se obțin din țesături late impregnate și lăcuite, tăiate la lățimea dorită.

Lățimile benzilor sînt cuprinse între 10 și 30 mm.

Tuburile din țesături textile. Tuburile din țesături textile se realizează din fire de bumbac, mătase sau fire de sticlă, prin țesere sau împletire pe mașini speciale la diametre interioare de la 1 pînă la 12 mm.

Tuburile din țesături textile au caracteristicile firelor din care sînt confecționate. În plus, ele au capacitatea de a rezista mai bine la eforturi de întindere și la un număr mare de îndoiri.

Ca și țesăturile textile, tuburile se pot utiliza la izolarea înfășurărilor fie neimpregnate, fie impregnate, fie impregnate și lăcuite. În cazul folosirii tuburilor din țesături neimpregnate este neapărat necesară executarea impregnării înfășurării respective, o dată cu aceasta executîndu-se și impregnarea tuburilor. Ca și în cazul țesăturilor, clasa de izolație a tuburilor din țesături textile impregnate este determinată de natura lacului folosit.

Tabela 2.10

Țesături impregnate

Țesătura	Lacul de impregnare	Clasa de izolație a materialului impregnat
Țesătura de bumbac	lacuri pe bază de uleiuri vegetale	A
	lacuri oleo-bituminoase	A
Țesătura din mătase naturală	lacuri pe bază de uleiuri vegetale	A
	lacuri pe bază de rășini poliesterice	E
Țesătura din mătase artificială	lacuri pe bază de uleiuri vegetale	A
Țesătura din poliamidice	lacuri pe bază de rășini oleo-gliptalice	E
Țesătura din fire de sticlă	lacuri pe bază de rășini oleo-gliptalice	E
	lacuri pe bază de rășini epoxidice	E
	lacuri pe bază de rășini poliesterice	B, F
	lacuri siliconice	B, F, H
	elastomeri siliconici	F, H
Țesătura din fire de azbest	lacuri pe bază de rășini oleo-gliptalice	E
	lacuri pe bază de rășini poliesterice	B, F

Materiale plastice

Materialele plastice se folosesc în construcția înfășurărilor în următoarele forme :

— folii (pelicule) electroizolante ;

— piese izolante din materiale sub formă de prafuri sau granule presate ;

— plăci sau piese cu profile determinante, distanțoare electroizolante din materiale stratificat-presate ;

— izolații pentru conductoare și cabluri de conexiune.

Folii electroizolante. Materialele plastice sub formă de folii izolante se folosesc pentru confecționarea izolației înfășurărilor și în special pentru executarea izolației în crestătură.

Grosimea la care se fabrică aceste folii variază între 0,01 și 0,5 mm ; frecvent se utilizează foliile având grosimea de 0,025 și 0,04 mm.

Foliile electroizolante sintetice pot suporta pentru scurt timp tensiuni foarte ridicate. Însă numai în cazul utilizării foliilor în com-

binație cu materiale electroizolante de umplere sau de încleiere cu caracteristici electrice corespunzătoare, se pot supune foliile la tensiuni de serviciu ridicate.

În tabela 2.11 sînt indicate temperaturile maxime admisibile și comportarea la acțiunea descărcărilor superficiale a foliilor electroizolante uzuale.

Tabela 2.11

Temperatura maximă admisibilă (°C) și comportarea la acțiunea descărcărilor electrice ale foliilor electroizolante din materiale plastice uzuale

Materialul foliilor	Temperatura maximă admisibilă °C	Comportarea la descărcările electrice superficiale
Triacetat de celuloză	120	nestabil
Acetobutirat de celuloză	120	nestabil
Polietilenă	60	relativ bun
Polistiren	70	relativ bun
Policlorură de vinil (PVC)	80	relativ stabil
Poliamidă	105	nestabil
Policarbonat	120	nestabil
Tereftalat de polietilenă (mylar, hostaphan, terfan)	130 (la 150 °C timp scurt)	nestabil
Polimonoclortrifluoretilenă	180 (pe cupru numai 100 °C)	nestabil
Politetrafluoretilenă (teflon)	200	nestabil

Atît foliile, cît și mai ales benzile din materiale plastice cu un material de încleiere pe una din suprafețe sînt denumite folii, respectiv benzi cu autolipire.

După natura foliei, se folosesc ca material de încleiere rășini poliesterice sau rășini, respectiv elastomeri, siliconici.

Benzile cu autolipire se folosec îndeosebi la izolarea capetelor de bobină, la izolarea suporților capetelor de bobină, la consolidarea ieșirilor și legăturilor bobinelor și în general la mașinile de tensiune joasă.

Materiale de presare

La confecționarea pieselor izolante de dimensiuni determinate ca : profile, distanțoare, plăci, plăci de borne, se folosesc materiale sub formă de pulberi sau granule care se presează la cald în forme (ma-

triţe). Aceste materiale, denumite uzual şi prafuri de presare, sînt un amestec de răşini sintetice termoreactive cu un material de umplutură.

Caracteristicile electrice şi mecanice ale materialelor de presare depind de proporţia amestecului dintre răşină şi materialul de umplutură. Proporţia de răşină uzual folosită este de 45—50%.

Materiale stratificate

Materialele stratificate se obţin din hîrtie electrotehnică sau ţesături asociate cu o răşină electroizolantă termoreactivă ca material de legătură. Prin presarea ansamblului la temperaturi ce se stabilesc după natura materialului de umplere şi a răşinii fie între platanele unei prese, fie în matriţe cu forme diferite, se obţine materialul stratificat în formă de plăci, bare, tuburi sau piese izolante de forme determinate.

În tabela 2.12 se indică tipurile de pertinax, textolit şi sticlotextolit în plăci ce se fabrică la FCME şi domeniile principale de utilizare. Pertinaxul şi textolitul se fabrică în grosimi de 0,5 . . . 80 mm, iar sticlotextolitul de la 0,5 la 20 mm.

Tabela 2.12

Tipurile de pertinax, textolit şi sticlotextolit ce se fabrică la FCME şi domeniul lor de utilizare

Materialul	Simbol	Domeniul de utilizare	Clasa de izolaţie	Marca internă
Pertinax	EUT	Pentru utilizare în ulei mineral	E	N.I. 679-60
	EA	Pentru a lucra în aer	E	
	EAU	Pentru a lucra în aer la umiditate ridicată	E	
	EIF	Pentru utilizare la înaltă frecvenţă (telefonie)	E	
Textolit	E	Pentru a lucra în ulei mineral sau aer	E	
	M	Cu proprietăţi mecanice ridicate		N.I. 879-63
Sticlotextolit cu răşină bachelitică			B	N.I. 1326-63
Sticlotextolit cu răşină epoxidică			F	N.I. 1126-63
Sticlotextolit cu răşină siliconică			H	N.I. 1246-63

Mica și produsele de mică

Mica se folosește ca material electroizolant numai în două calități : mica muscovit (care este un silicat dublu de aluminiu și potasiu) și mica flogopit (care este un silicat dublu de aluminiu și magneziu). Aceasta din urmă se găsește însă în cantități foarte mici în natură.

În țara noastră este utilizată mica albă (muscovit), conform STAS 2290-55, clasificată după mărimea plăcilor sau foițelor și după grosime.

Plăcuțele și foițele de mică se întrebuințează ca atare în construcția de piese izolante pentru borne și lamele izolante de colectoare. În executarea izolațiilor în crestătură se folosesc produsele de mică.

Produsele de mică. Se întîlnesc următoarele tipuri de produse pe bază de mică : micanita, micafoliul, micabanda, hîrtia de mică, micalexul.

Micanita este materialul electroizolant care se obține prin încleierea foițelor de mică cu un liant organic sau anorganic.

În funcție de domeniul de utilizare, micanita se fabrică în următoarele variante principale : micanita de colector, micanita de formare, micanita de căptușire, micanita rezistentă la căldură (termorezistentă) și micanita flexibilă.

Micanita de colector se fabrică folosind ca lac de încleiere pentru foițele de mică fie un lac gliptalic, fie șerlacul, fie un lac melamino-gliptalic. Conținutul de lac al micanitei de colector este de la 3 la 6%. Micanita se prezintă sub formă de plăci sau de foi cu grosimea cuprinsă între 0,1 și 2 mm.

Datorită condițiilor speciale de fabricație (calibrare etc.), micanita de colector are un preț de cost ridicat.

Micanita de formare se fabrică prin lipirea foițelor de mică muscovit cu șerlac sau lac gliptalic, în coli cu grosimea cuprinsă între 0,2 și 3 mm.

Micanita de formare conține mai mult lac decît micanita de colector (între 10 și 30%) aceasta dîndu-i proprietatea de a se înmuia la cald și de a lua o formă determinată.

Datorită acestei proprietăți, micanita de formare se folosește pentru executarea de piese izolante de configurații speciale (rame, casete izolante, teci, jgheaburi etc.).

Micanita de căptușire este un produs similar cu micanita de formare, cu deosebire că nu mai poate fi modelată la cald. Din mica-

nită de căptușire se confecționează șaibe izolante, rame izolante, pereți izolanți.

Micanita rezistentă la căldură se deosebește de celelalte tipuri de micanite prin aceea că, folosind un liant de natură anorganică sau un lac gliptalic cu punct de topire ridicat, poate fi folosită la temperaturi de serviciu ridicate. Se utilizează la confecționarea de suporturi izolante pentru rezistențe electrice de încălzire, pereți izolanți la cuptoare de uscare etc.

Micanita flexibilă este unul din produsele de mică cu mare utilizare în confecționarea de elemente ale izolației înfășurărilor (teci izolante, izolație între straturi, izolație la capete de bobine).

La fabricarea micanitei flexibile se folosește un procent ridicat de lac de încleiere (30—40%), pentru a se putea realiza elasticitatea și flexibilitatea materialului.

Micanita flexibilă se fabrică de obicei cu un suport mecanic, acesta fiind fie hîrtia-foiță, fie o țesătură de mătase naturală sau pînză de sticlă, fie în sfîrșit un foliu sintetic.

Grosimea micanitei flexibile variază între 0,15 și 0,3 mm, mai rar 0,5 mm.

Micafoliul este un material electroizolant care se obține prin lipirea unui strat sau a mai multor straturi de foițe de mică pe o hîrtie electroizolantă foarte rezistentă sau pe o pînză de sticlă (sticlomicafoliu) sau pe un foliu sintetic.

Micafoliul se prezintă sub formă de coale sau rulouri, cu lățimea de 400 mm și grosimea de 0,15, 0,20 sau 0,30 mm.

Micafoliul se întrebuințează pentru confecționarea prin micanizare a izolației elementelor de înfășurare sau pentru executarea de piese izolante (izolația bobinelor polilor, izolația bornelor etc.). În unele cazuri, micafoliul poate fi prelucrat prin ruluirea sub formă de tuburi izolante.

Micabanda este un material electroizolant obținut prin lipirea unui strat de foițe de mică pe o bandă suport confecționată fie din hîrtie electroizolantă, fie din țesături din fire de mătase naturală sau din fire de sticlă (sticlomicabandă) sau o folie sintetică.

Dimensiunile uzuale ale micabenzilor sînt următoarele: grosimea este cuprinsă între 0,08 și 0,17 mm, iar lățimea benzilor între 12 și 35 mm. Micabenzile se livrează sub formă de role (30—50 m).

Micabanda se utilizează curent la confecționarea izolației înfășurărilor. Astfel, cu micabandă pe hîrtie, se izolează conductoarele sub formă de bară și bobinele polare ale mașinilor electrice de tensiune joasă și înaltă (mașini de curent continuu sau mașini de curent alter-

nativ), iar cu micabandă pe țesătură de sticlă se izolează conductoarele sub formă de bare ale înfășurărilor mașinilor de curent continuu sau de curent alternativ destinate regimurilor grele de funcționare (la temperaturi ridicate), precum și capetele de bobină ale înfășurărilor mașinilor de înaltă tensiune (mașini sincrone și asincrone).

Hîrtia de mică de grosime 0,02—0,2 mm se fabrică din deșeuri de mică sau foițe de mică de dimensiuni mici, procedeul de fabricație fiind analog aceluia de fabricație a hîrtiilor celulozice. Hîrtia de mică se folosește ca atare după o prealabilă preparare cu un liant electroizolant, în foi subțiri, precum și sub formă de micafoliu și micabandă. Rezistența la temperaturi este de peste 200 °C.

Micalexul este un material electroizolant compact pe bază de mică, care se obține prin presare la temperaturi ridicate (+600 °C) a unui amestec de pulbere de mică și sticlă ușor fuzibilă (sticlă de bor și plumb sau sticlă de bor și litiu). Prin presarea materialului se obțin bare, tuburi sau plăci, care pot fi prelucrate mecanic la forma și dimensiunile dorite.

Micalexul se întrebuințează pentru executarea de piese izolante, distanțoare sau rame și casete la înfășurările polilor mașinilor de curent continuu sau sincrone ș. a.

Materiale electroizolante combinate

Acestea se fabrică în formă de foi avînd grosimea 0,1—0,5 mm. Prin asocierea a două sau trei materiale (țesături lăcuite, folii) cu ajutorul unui clei electroizolant și după presarea sub formă de foi (coale) se obțin materiale electroizolante combinate.

Datorită asocierii prin încleiere, materialul rezultă mult mai compact, motiv pentru care pentru utilizări similare, prin folosirea de materiale combinate, se aleg grosimi mai mici de izolație decît la utilizarea materialelor individuale. De exemplu, la motoarele asincrone trifazate de puteri pînă la 10 kW, izolația din preșpan și pînză uleiată (de grosime 0,5 mm) a fost înlocuită cu o izolație combinată (preșpan tereftalat de polietilenă — preșpan, denumită Nuvolit de grosime 0,25 mm).

Lemnul

Lemnul are proprietăți electroizolante relativ slabe, totuși este utilizat la confecționarea penelor ; se folosește, în general, lemnul de fag fiert în ulei de in.

2.2.1. Materiale electroizolante întrebuinţate pentru impregnarea şi acoperirea înfăşurărilor maşinilor electrice

Tipuri de materiale

Pentru impregnarea şi acoperirea înfăşurărilor maşinilor electrice se utilizează materiale electroizolante în stare lichidă sau vîscoasă, care au proprietatea de a pătrunde în interstiţiile din crestătură şi din izolaţia înfăşurării, astfel încît prin uscare (întărire) se realizează în interior o izolaţie compactă în care să fie înglobată înfăşurarea, fără goluri de aer, iar în exterior să formeze o peliculă continuă cu proprietăţi electrice şi fizico-mecanice bune.

În acest scop se folosesc următoarele grupe de materiale :

— lacuri electroizolante ;
— compunduri electroizolante ;
— răşini poliesterice nesaturate şi epoxidice.

Lacurile electroizolante de impregnare şi de acoperire

Lacurile de impregnare şi de acoperire se compun din materialul de bază al lacului ca răşină electroizolantă sau bitum şi un diluant sau solvent. În plus, aceste lacuri mai conţin substanţe auxiliare, ca pigmenţi pentru obţinerea unei anumite culori, sicativi etc.

După natura materialelor care servesc ca material de bază, lacurile de impregnare şi de acoperire sînt de următoarele tipuri :

— lacuri pe bază de răşini naturale (şerlac, copal) ;
— lacuri oleo-răşinoase ;
— lacuri oleo-bituminoase ;
— lacuri pe bază de răşini sintetice nemodificate ;
— lacuri pe bază de răşini sintetice modificate cu uleiuri.

După temperatura la care se usucă, se deosebesc următoarele tipuri de lacuri :

— lacuri cu uscare în cuptor, la temperaturi de peste +110 °C, valoarea temperaturii fiind dependentă de natura materialului de bază ;
— lacuri cu uscare în aer, la temperatura ambiantă (20—40 °C).

În tabela 2.13 sînt indicate lacurile de impregnare şi acoperire de clasa A şi B ce se fabrică în prezent la FCME Bucureşti.

Lacuri de impregnare pentru clasele E şi B se realizează pe bază de răşini sintetice (poliesteri tereftalici) sau răşini poliesterice modificate cu ulei sicativat, iar lacurile pentru clasele F şi H se realizează pe bază de răşini siliconice.

Tabela 2.13

Lacuri de impregnare și acoperire

Denumirea lacului	Compoziția		Culoarea	Regimul de uscare		Clasa de izolație	Indicații de utilizare
	Materialul de bază	Diluantul		Temperatura °C	Timpul ore		
			1. *Lacuri uleioase (pe bază de ulei)*				
Lac 802	Ulei de in	Amestec de benzină și benzen, xilen, toluen	Galben	150	3	A	Impregnarea țesăturilor de culoare deschisă (pînză lăcuită, benzi brute)
Lac Sterling	Ulei de in	White-spirit	Galben	105 20	8—10 30—40	A	Impregnarea țesăturilor de culoare deschisă (pînză lăcuită, benzi brute)
Lac C-21 (202)	Ulei de in	White-spirit, terebentină, petrol	Galben brun	105 210	2 1/5	A	Special
			2. *Lacuri oleo-bituminoase*				
Lac C-41 (441)	Ulei de in sicativat și bitum special	White-spirit și solvent nafta	neagră	120—130	12—18	A	Impregnarea înfășurărilor mașinilor electrice
Lac C-42 (458)	Ulei vegetal și bitum special	Amestec de white-spirit și solvent nafta	neagră	110—130	8—15	A	Se folosește la impregnarea înfășurărilor și a conductoarelor izolate cu fire textile
Lac C-43 (460)	Ulei vegetal și bitum special	Amestec de white-spirit și solvent nafta	neagră	120—130	18—24	A	Impregnarea înfășurărilor, eventual peste o peliculă de lac C-42 (458)

Tabela 2.13 (continuare)

Denumirea lacului	Compoziția		Culoarea	Regimul de uscare		Clasa de izolație	Indicații de utilizare
	Materialul de bază	Diluantul		Temperatura °C	Timpul ore		
	3. *Lacuri oleo-rășinoase (pe bază de rășini sintetice modificate cu ulei)*						
Lac C-51 (1154)	Rășină alhidalică (rășină gliptalică modificată cu acizi grași ai uleiului de in)	Amestec de white-spirit și benzen (1/1)	Galben-brun	120—130	14—16	A	Impregnarea înfășurărilor care lucrează în ulei mineral (transformatoare, regulatoare de inducție)
Lac AA-61 (SVD)	Rășină alhidalică (gliptal modificat cu ulei)	Amestec de white-spirit și benzen (1/1)	Gri	105 20±2	6 24	A	Acoperirea înfășurărilor cu uscare în aer
Lac CA 62 (SPD)	Rășină alhidalică (gliptal modificat cu ulei)	Amestec de white-spirit și benzen (1/1)	Gri	105	10	A	Acoperirea înfășurărilor cu uscare în cuptor
Lac AA-63 (KVD)	Rășină alhidalică (rășină gliptalică modificată cu acizi grași ori ulei de in)	Amestec de white-spirit și benzen (1/1)	Roșu	105	10	A	Acoperire cu pigmenți de culoare roșie
	4. *Lacuri pe bază de rășini sintetice*						
Lac C-51 M (ALM)	Amestec de rășină gliptalică cu rășină melaminică	Tip ALM-1A	Galben închis	120—130	8—15	B	Pentru impregnarea și acoperirea înfășurărilor cu conductoare emailate și la transformatoare

Compundurile electroizolante

Compundurile sînt amestecuri de bitum, răşini şi uleiuri sicative (ulei de in), care se întrebuinţează pentru izolarea înfăşurărilor şi totodată umplerea tuturor golurilor şi interstiţiilor din înfăşurare. Prin compundare, înfăşurarea devine un corp compact, cu proprietăţi mecanice ridicate şi cu proprietăţi termice (transmisia de căldură) mult îmbunătăţite, întrucît compundurile nu folosesc solvenţi care prin evaporare să producă goluri în material.

După domeniul de utilizare, compundurile sînt : de impregnare, de acoperire, de turnare.

Compundurile de impregnare. Aceste compunduri se realizează fie din bitum special, fie dintr-un amestec de bitum cu ulei sicativ ; cel din urmă serveşte la impregnarea bobinelor cu goluri şi cu interstiţii mici. În unele cazuri, impregnarea înfăşurărilor cu compunduri se face în autoclave, în vid, pentru a mări pătrunderea lor în interstiţii.

Compundurile de acoperire. Acestea se realizează cu amestecuri de bitum, ulei de in şi un adaos de răşini sintetice, cu umpluturi anorganice (talc, cretă, azbest etc.). Aceste compunduri au în general proprietatea de a se usca (de a se întări) într-un timp foarte scurt. Prin uscare ele dau o peliculă continuă, care închide ermetic înfăşurarea şi o consolidează foarte bine mecanic.

Compundurile de turnare (de umplere). Aceste compunduri sînt amestecuri de bitum şi praf anorganic (cuarţ), care au temperatura de serviciu foarte ridicată. Datorită proprietăţii lor de a umple golurile din înfăşurări, ele asigură o transmisie foarte bună a căldurii şi de aceea se întrebuinţează la izolarea înfăşurărilor maşinilor electrice destinate să funcţioneze la temperaturi ridicate.

În tabela 2.14 sînt prezentate caracteristicile compundurilor principale.

Răşinile poliesterice nesaturate şi răşinile epoxidice

În construcţia înfăşurărilor maşinilor electrice, răşinile poliesterice nesaturate şi răşinile epoxidice (etoxilinice) substituie cu succes în ultima vreme materialele folosite pentru impregnare şi acoperire (lacurile şi compundurile electroizolante). Sub influenţa unui catalizator (denumit în practică întăritor), la temperatura mediului ambiant sau la o temperatură superioară acesteia, aceste răşini se întăresc, procesul de întărire fiind însoţit de cedare de căldură (exoterm).

Tabela 2.14

Compunduri pentru impregnarea, acoperirea și umplerea bobinelor mașinilor electrice

Denumirea	Elemente componente	Solventul	Caracteristicile	Indicații de utilizare
Compund de impregnare	Bitumuri speciale cu temperatura de înmuiere peste 105 °C Amestecuri de bitumuri naturale și petroliere, cu uleiuri sintetice și cu colofoniu	Bitumuri cu punct de înmuiere de 60—70 °C, lichide la 110 °C și cu punct de aprindere de 230 °C	Punctul de înmuiere de 105 °C Suprafața și spărtura lucioasă Culoarea neagră	Impregnarea bobinelor mașinilor electrice (eventual în vid)
Compund de acoperire prin turnare	Amestecuri de lacuri oleobituminoase și de rășini fenolice modificate cu $^1/_2$ material de umplere: talc și ciment	—	Punctul de înmuiere de peste 120 °C; se solidifică la 100 °C în 4 h; nu se înmoaie la 100—120 °C Culoare închisă	Acoperirea bobinelor mașinilor electrice
Compund de acoperire	Amestecuri de lacuri ulei-gliptal-nitroceluloză și cu umplutură de cretă, fire de azbest și oxizi de zinc	—	Punctul de înmuiere peste 120 °C; se solidifică la 100 °C în 4 h Culoare deschisă	Idem
Compunduri cu cuarț pentru acoperire și umplere	20—30 % bitum topit, cu punctul de înmuiere de 100 °C, amestecat cu 80—75 % nisip de cuarț în vase cu amestecător	—	Punctul de înmuiere 130—135 °C	Acoperirea izolației și umplerea spațiilor în jurul bobinelor

După natura utilizării, se deosebesc :

— rășini de impregnare ;

— rășini de turnare.

De asemenea, în construcția înfășurărilor atît rășinile poliesterice nesaturate, cît și rășinile epoxidice se mai folosesc uneori ca masă electroizolantă de turnare (la borne, la cutia terminală).

— Rășinile de impregnare în stare fluidă servesc la impregnarea înfășurărilor ; în stare mai vîscoasă se folosesc ca materiale de acoperire. Pentru realizarea izolației la mașinile electrice de înaltă tensiune (6 000 V) o mare dezvoltare o are folosirea rășinilor epoxidice (Araldit F) asociate cu materiale electroizolante pe bază de mică (hîrtie de mică) și țesături din fire de sticlă.

Rășinile de impregnare au marele avantaj în raport cu lacurile de impregnare de a realiza o masă compactă în regiunea înfășurării, de a elimina complet aerul dintre spire și de a realiza o rigidizare mecanică foarte bună.

— Rășinile de turnare servesc pentru înglobarea completă a înfășurărilor montate pe miez, astfel încît după aplicarea lor, înfășurările sînt complet separate de acțiunea agenților externi. Rășina amestecată cu materialul de întărire, se toarnă în forme de tablă.

2.2.2. Alegerea schemei de izolație a mașinii în funcție de solicitările termice care se produc

După poziția pe care o ocupă diferitele elemente ce compun schemele de izolație ale înfășurărilor, materialele electroizolante folosite la realizarea acestor elemente sînt solicitate electric, termic și mecanic în timpul funcționării mașinii, în mod diferit.

Alegerea materialelor electroizolante pentru compunerea schemelor de izolație impune cunoașterea acestor solicitări, deoarece elementul cel mai slab din schema de izolație determină modul în care va funcționa mașina. Astfel, trebuie cunoscute încălzirile produse în diferitele puncte ale mașinii pentru a se evita suprasolicitarea materialelor electroizolante. Solicitările termice maxim admisibile ale înfășurărilor se aleg curent cu 5—20 °C sub limita admisă pentru clasele respective de izolație. În tabela 2.15 sînt indicate încălzirile admise uzual în funcționarea mașinilor electrice conform recomandărilor CEI (Publicația 34-1, 1960), pentru diferitele tipuri de înfășurări în clasele de izolație A, E, B, F, H. Valorile din tabela 2.15 presupun o temperatură a mediului ambiant de maximum +40 °C.

Limitele admisibile de încălzire în funcționarea mașinilor electrice (conform

Partea componentă a mașinii	Izolații clasa A			Izolații clasa E		
	Metoda termometrului	Metoda rezistenței	Metoda indicatoarelor interne de temperatură situate între bobine într-o crestătură	Metoda termometrului	Metoda rezistenței	Metoda indicatoarelor interne de temperatură situate între bobine într-o crestătură
a) Înfășurările de curent alternativ ale turboalternatoarelor având puterea mai mare sau egală cu 5 000 kVA. b) Înfășurările de curent alternativ ale mașinilor cu poli înecați și ale mașinilor asincrone de 5 000 kVA sau mai mari, sau având o lungime axială a fierului activ de cel puțin 1 m.	—	60°C	60°C	—	70°C	70°C
a) Înfășurările de curent alternativ ale mașinilor mai mici decît cele de mai sus. b) Înfășurările de excitație de curent continuu ale mașinilor de curent alternativ și de curent continuu. c) Înfășurările tip indus de curent continuu racordate la colector.	50°C	60°C	—	65°C	75°C	—
Înfășurările de excitație de curent continuu ale turbomașinilor.	—	—	—	—	—	—
a) Înfășurările de excitație în două sau mai multe straturi și având o rezistență electrică mică ; înfășurări de compensare.	60°C	60°C	—	75°C	75°C	—

Tabela 2.15

publicației CEI-34-1/1960) în funcție de clasa de izolație și metoda de măsură

Izolații clasa B			Izolații clasa F**)			Izolații clasa H**)		
Metoda termometrului	Metoda rezistenței	Metoda indicatoarelor interne de temperatură situate între bobine într-o crestătură	Metoda termometrului	Metoda rezistenței	Metoda indicatoarelor interne de temperatură situate între bobine într-o crestătură	Metoda termometrului	Metoda rezistenței	Metoda indicatoarelor interne de temperatură situate între bobine într-o crestătură
—	80°C	80°C	—	100°C	100°C	—	125°C	125°C
70°C*)	80°C	—	80°C*)	100°C	—	105°C	125°C	—
—	90°C	—	—	110°C	—	—	—	—
80°C	80°C	—	100°C	100°C	—	125°C	125°C	—

Partea componentă a mașinii	Izolații clasa A			Izolații clasa E		
	Metoda termometrului	Metoda rezistenței	Metoda indicatoarelor interne de temperatură situate între bobine într-o crestătură	Metoda termometrului	Metoda rezistenței	Metoda indicatoarelor interne de temperatură situate între bobine într-o crestătură
b) Înfășurările într-un strat cu suprafața expusă neizolată.	65°C	65°C	—	80°C	80°C	—
Înfășurările izolate legate în scurtcircuit	60°C	—	—	75°C	—	—
Înfășurările neizolate legate în scurtcircuit. Miezuri de fier și alte părți, care nu sînt în contact cu înfășurările.	Încălzirile acestor părți nu trebuie să atingă inadmisibile ale materialelor izolante					
Miezuri de fier și alte părți, în contact cu înfășurările.	60°C	—	—	75°C	—	—
Colectoare și inele de contact.	60°C	—	—	70°C	—	—
Lagăre: Lagăre de alunecare sau rulmenți, cu unsori uzuale	45°C	—	—	45°C	—	—
Lagăre: Rulmenți, cu unsori speciale (punctul de picurare +160 °C)	55°C	—	—	55°C	—	—
Toate celelalte părți	Încălzirile acestor părți nu trebuie în nici un risc de deteriorare pentru materialele					

*) Pentru înfășurările de curent alternativ, izolate complet cu tensiuni să fie reduse cu 1,5 °C pentru fiecare kilovolt sau fracțiune de kilovolt cu care

Pentru limitele de încălzire ale înfășurărilor cu tensiuni nominale peste

**) Dacă nu se convine în alt fel între întreprinderea producătoare și avînd lungimi ale fierului activ de peste 1 metru, izolate cu materiale din izolante din clasa B.

Tabela 2.15 (continuare)

Izolaţii clasa B			Izolaţii clasa F**)			Izolaţii clasa H**)		
Metoda termometrului	Metoda rezistenţei	Metoda indicatoarelor interne de temperatură situate între bobine într-o crestătură	Metoda termometrului	Metoda rezistenţei	Metoda indicatoarelor interne de temperatură situate între bobine într-o crestătură	Metoda termometrului	Metoda rezistenţei	Metoda indicatoarelor interne de temperatură situate între bobine într-o crestătură
90°C	90°C	—	110°C	110°C	—	135°C	135°C	—
80°C	—	—	100°C	—	—	125°C	—	—

valori care să conducă la încălziri
sau neizolante învecinate.

80°C	—	—	100°C	—	—	125°C	—	—
80°C	—	—	90°C	—	—	100°C	—	—
45°C	—	—	45°C	—	—	45°C	—	—
55°C	—	—	55°C	—	—	55°C	—	—

un caz să atingă valori care să prezinte
învecinate izolante sau neizolante.

nominale peste 11 kV, limitele de încălzire măsurate cu termometrul trebuie
tensiunea nominală este mai mare decît valoarea de 11 kV.
16,5 kV, sînt valabile convenţii speciale.
beneficiar, încălzirea părţilor maşinilor cu o putere mai mare de 5 MVA sau
clasele F şi H, nu trebuie să depăşească încălzirile admise pentru materialele

Clasa de izolație a mașinii este dată de clasa de izolație a izolației înfășurării propriu-zise. Pentru celelalte elemente ale mașinii a căror izolație intră în compunerea schemei, se aleg materiale electroizolante care să corespundă solicitărilor locale din clase de izolație diferite în general de aceea a izolației înfășurării propriu-zise.

3. Înfășurări concentrate

3.1. TIPURI DE ÎNFĂȘURĂRI CONCENTRATE ȘI ELEMENTELE LOR COMPONENTE

Înfășurările concentrate sînt realizate din spire (formate din conductoare izolate) grupate în bobine. Bobinele sînt așezate pe miezurile feromagnetice ale polilor, formînd împreună cu acestea polii mașinii. Acesta este motivul pentru care bobinele înfășurărilor concentrate se mai numesc și bobine polare.

Înfășurările de acest tip se utilizează atît în construcția mașinilor electrice de curent continuu, cît și în construcția unor mașini de curent alternativ (mașinile sincrone cu poli aparenți, diferite generatoare cu utilizări speciale etc.), ele fiind folosite în ambele cazuri pentru producerea cîmpului magnetic inductor sau a cîmpului din zona de comutație de la mașinile cu colector.

Corespunzător acestor funcțiuni, înfășurările concentrate utilizate în construcția mașinilor de curent continuu se împart în înfășurări de excitație și înfășurări ale polilor auxiliari (de comutație).

În mașina de curent continuu, înfășurările de excitație și cele ale polilor auxiliari sînt așezate exclusiv pe stator. În construcția mașinilor sincrone cu poli aparenți (cu poli ieșiți), înfășurările concentrate se utilizează ca înfășurări de excitație așezate fie pe rotor, ca în cazul mașinilor de construcție normală, fie pe stator, ca în cazul mașinilor sincrone în construcție inversă (cu polii pe stator). În fig. 3.1 este reprezentată o bobină concentrată montată pe miezul feromagnetic. În figură s-au notat dimensiunile principale ale bobinei.

În cazul în care înfășurările concentrate sînt parcurse de curenți mici, ele se execută cu conductor de secțiune circulară (conductor rotund); cînd sînt parcurse de curenți mari ele se execută cu conductor de secțiune dreptunghiulară. Astfel, mașinile de curent continuu de putere mică și mijlocie cu excitație independentă, derivație sau compund, ca și mașinile sincrone de putere mică, au înfășurările

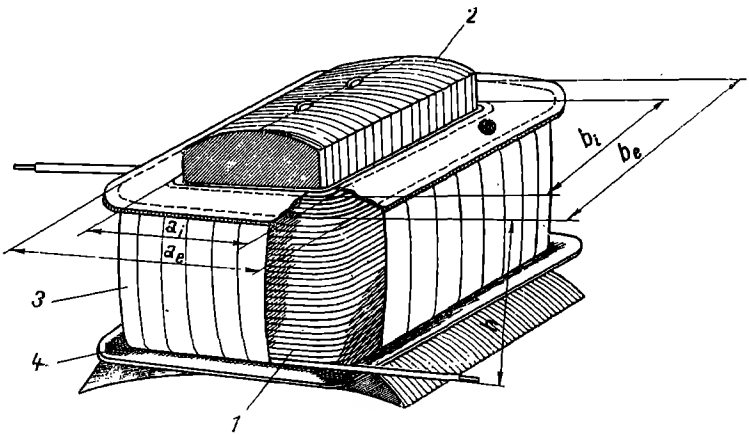


Fig. 3.1. Pol inductor :
1 — bobina; *2* — miezul feromagnetic; *3* — izolația exterioară; *4* — carcasa bobinei.

concentrate confecționate din conductoare de secțiune circulară : înfășurarea de excitație serie a mașinilor de curent continuu, înfășurarea serie a mașinilor de curent continuu compundate, înfășurările polilor auxiliari și înfășurările de excitație ale mașinilor sincrone de putere mijlocie și mare se execută cu conductor de secțiune dreptunghiulară.

3.2. FUNCȚIUNILE ÎNFĂȘURĂRILOR CONCENTRATE

3.2.1. Funcțiunile înfășurărilor de excitație

Înfășurările de excitație, parcurse de curenți electrici produc cîmpuri magnetice.

În fig. 3.2 este reprezentată schematic o mașină bipolară de curent continuu. Înfășurarea de excitație este parcursă de curent în așa fel încît cîmpul magnetic sub un pol este îndreptat dinspre pol

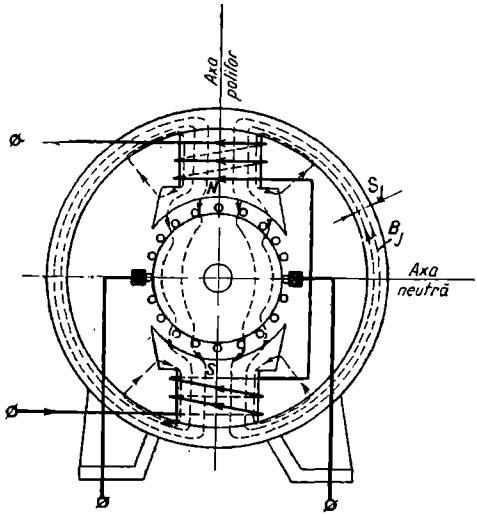


Fig. 3.2. Circuitul magnetic și liniile cîmpului magnetic inductor în mașina de curent continuu.

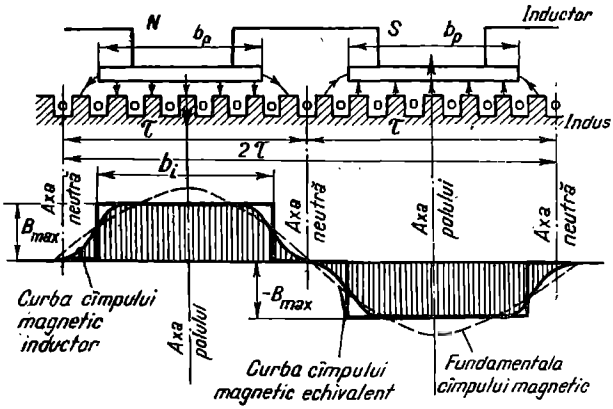


Fig. 3.3. Cîmpul magnetic inductor al mașinii de curent continuu (reprezentare desfășurată după întrefier).

spre indus, iar sub celălalt pol dinspre indus spre pol (se formează astfel doi poli : un pol nord (polul de sus) și un pol sud (polul de jos). În figură s-au reprezentat cu linie întreruptă, liniile cîmpului magnetic util (cîmpul magnetic util este cîmpul care îmbrățișează înfășurarea indusului). Liniile de cîmp se închid prin întrefier, dinții din rotor, jugul indusului, miezul polilor principali și jugul inductor. Din fig. 3.3, în care s-au reprezentat polii principali desfășurați și liniile cîmpului magnetic în întrefier, rezultă că porțiunea în care cîmpul magnetic este aproape constant nu se extinde pe întreg pasul polar τ, ci pe o distanță mai mică notată cu b_i, denumită lățimea ideală a piesei polare. Această lățime este mai mică la mașinile cu poli auxiliari și are valoarea $b_i = (0{,}65 \ldots 0{,}75)\ \tau$, comparativ cu mașinile fără poli auxiliari, la care lățimea ideală se apropie ceva mai mult de pasul polar $b_i = (0{,}7 \ldots 0{,}85)\ \tau$. De aici se desprinde o concluzie importantă : deschiderea bobinei înfășurării indusului poate fi mai mică decît pasul polar, dar fluxul maxim printr-o spiră este aproape egal cu fluxul unui pol.

Producerea cîmpului magnetic inductor într-o mașină sincronă are loc în același mod ca la mașina de curent continuu.

La funcționarea în gol a mașinii, înfășurarea de excitație, care are w_e spire ($w_e = 2\ pw_b$, unde w_b este numărul de spire pe bobină, respectiv pe pol, iar p numărul de perechi de poli) și este parcursă de curentul i_e, produce cîmpul magnetic principal prin mașină. Acest cîmp depinde de produsul $w_e i_e$, de mărimea întrefierului și de lungimile celorlalte porțiuni ale circuitului magnetic (lungimile jugurilor și înălțimile dinților). Cîmpul magnetic variază de la o porțiune a circuitului magnetic la alta, de la dinte la jug, de la întrefier la miezul polului ; ceea ce rămîne însă aproximativ constant este fluxul magnetic, adică produsul dintre inducția magnetică B și suprafața S pe care cîmpul magnetic este perpendicular. De exemplu în jugul inductor din fig. 3.2 fluxul magnetic este produsul dintre inducția B_j și aria secțiunii jugului S_j.

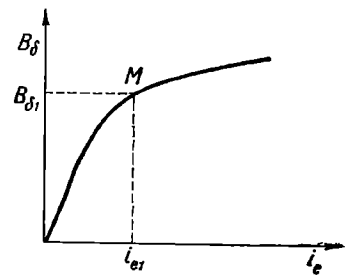


Fig. 3.4. Curba inducției magnetice B_δ în întrefierul mașinii de curent continuu, în funcție de curentul de excitație i_e, la funcționarea în gol a mașinii.

În fig. 3.4 este reprezentată curba inducției magnetice din întrefier B_δ în funcție de curentul de excitație i_e, la funcționarea în gol a mașinii.

La funcționarea în sarcină a mașinii intervine și cîmpul magnetic produs de înfășurarea indusului. Acest cîmp magnetic, numit cîmp de reacție, este magnetizant sau demagnetizant în funcție de poziția periilor față de polii inductori, la mașina de curent continuu sau de natura sarcinii (inductivă sau capacitivă) la mașina sincronă. Compensarea efectului acestui cîmp de reacție se poate realiza tot prin înfășurarea de excitație, micșorînd sau mărind corespunzător curentul i_e.

În figurile 3.2 și 3.3 s-au mai reprezentat axa polilor și axa neutră a cîmpului magnetic; la funcționarea în gol axa neutră a cîmpului magnetic coincide cu axa neutră a polilor principali ai mașinii.

3.2.2. Funcțiile înfășurărilor polilor auxiliari și ale înfășurărilor de compensare

Mașinile cu colector de puteri mijlocii și mari sînt prevăzute în stator cu poli auxiliari, situați între polii principali și echipați cu înfășurări de tip concentrat. Polii auxiliari produc un cîmp magnetic orientat perpendicular pe laturile bobinelor pe care le scurtcircuitează la un moment dat periile; acest cîmp induce tensiuni electromotoare în bobinele care comută (adică în acele secții în care are loc schimbarea curentului de la $+I_a$ la $-I_a$, cînd lamelele colectorului la care sînt conectate capetele acestor bobine trec pe sub perii); tensiunile induse de polii de comutație compensează tensiunea de comutație, îmbunătățind comutația.

Mașinile de puteri mari mai prezintă pe stator și o înfășurare de compensare (fig. 3.5) repartizată în crestăturile prevăzute special în acest scop pe piesele polare ale polilor principali. Această înfășurare are rol de a compensa cîmpul magnetic de reacție transversal, al indusului; în acest fel se reduce posibilitatea apariției scînteilor la colector.

3.3. ÎNFĂȘURĂRILE STATORULUI MAȘINILOR DE CURENT CONTINUU

În statorul mașinilor de curent continuu sînt așezate, pe miezuri polare atît înfășurările de excitație, cît și înfășurările polilor auxiliari și de compensare (dacă acestea din urmă există).

În fig. 3.5 este reprezentat schematic statorul unei mașini de curent continuu avînd înfășurarea de excitație *1* așezată pe polii princi-

pali 2, înfășurarea polilor auxiliari 3 așezată pe polii auxiliari 4 și înfășurarea de compensare 5 așezată în crestăturile pieselor polare ale polilor principali 2.

Schema de conexiuni a înfășurărilor de excitație determină caracteristicile de funcționare ale mașinilor de curent continuu.

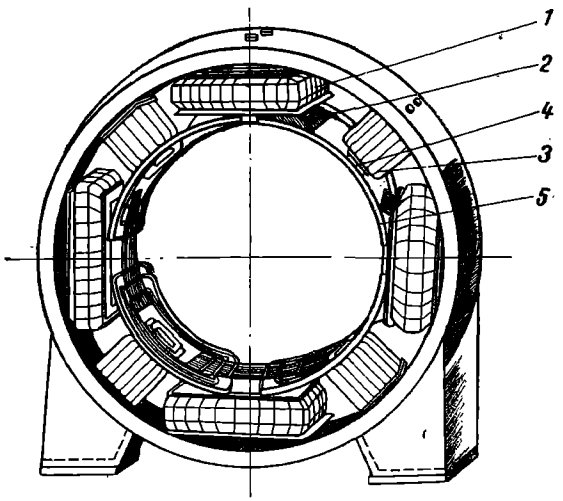


Fig. 3.5. Statorul unei mașini de c. c.:
1 — înfășurarea de excitație; *2* — miezul polului principal; *3* — înfășurarea polului auxiliar; *4* — miezul polului auxiliar; *5* — înfășurarea de compensare.

Tipurile de înfășurări se pot identifica într-o mașină de curent continuu direct în funcție de numărul de spire pe bobină și de grosimea conductorului în raport cu conductorul înfășurării indusului. De exemplu, înfășurarea de excitație derivație are spire multe, iar secțiunea conductorului ei este de obicei mai mică decît secțiunea conductorului înfășurării indusului, deoarece înfășurarea de excitație este parcursă de curentul i_e care chiar la mașinile de puteri mici este mai mic decît $\frac{1}{10} I_n$, unde I_n este curentul nominal al mașinii; conductorul înfășurării indusului are secțiunea mai mare, deoarece, este parcurs de curentul $I_a = \frac{I_n}{2a}$ ($2a$ fiind numărul de căi de curent în pa-

ralel ale înfășurării indusului). La micromașini cu excitație derivație curentul de excitație este comparabil ca valoare cu curentul din indus.

La mașinile de puteri mijlocii și mari, înfășurările de excitație serie ale polilor auxiliari și cea de compensare fiind legate în serie cu înfășurarea indusului și parcurse de curentul principal, se execută din conductoare de secțiune dreptunghiulară (cînd secțiunea are aria mai mare decît 4~6 mm²) și cu un număr relativ mic de spire.

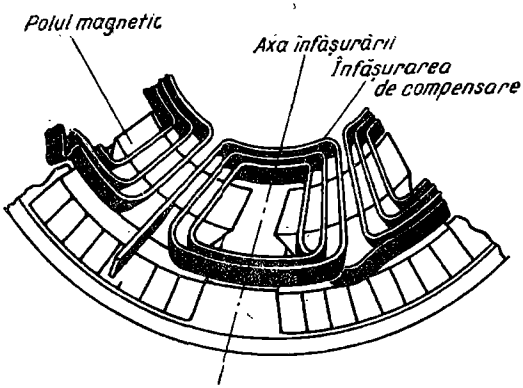


Fig. 3.6. Porțiune din înfășurările de compensare situate în piesele polare ale polilor principali, la o mașină de curent continuu.

Înfășurarea de compensare se întîlnește la mașinile de curent continuu de putere relativ mare, la mașinile de curent alternativ monofazate cu colector și la mașinile amplificatoare speciale : amplidina, rototrolul etc. Această înfășurare este construită din spire sau bobine așezate într-un singur strat, avînd una din laturi așezată într-una din crestăturile unei piese polare, iar cealaltă latură într-o crestătură a unei piese polare vecine (fig. 3.6).

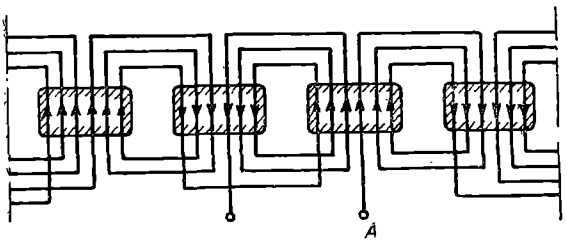


Fig. 3.7. Schema desfășurată a înfășurărilor de compensare ale unei mașini de curent continuu.

Înfășurarea de compensare se conectează în serie cu înfășurarea indusului și are rolul de a compensa cîmpul magnetic de reacție transversal al înfășurării indusului, îmbunătățind astfel funcționarea mașinii.

În fig. 3.7 este reprezentată schema de legături a spirelor înfășurării de compensare pentru o mașină tetrapolară, reprezentată parțial în fig. 3.6. Legăturile între diferitele laturi de bobină trebuie astfel executate, încît toate conductoarele situate într-o piesă polară să fie parcurse de curent în același sens.

Din fig. 3.6 și 3.7 rezultă de asemenea că axa înfășurării de compensare corespunde cu axa neutră a mașinii.

Din punct de vedere constructiv, înfășurarea de compensare se prezintă în general ca o înfășurare repartizată, așezată în crestăturile închise sau semiînchise prevăzute în acest scop în piesele polare ale polilor statorului; înfășurarea de compensare, fiind parcursă de curentul principal al mașinii de curent continuu, se realizează din conductoare izolate de secțiune dreptunghiulară.

3.4. ÎNFĂȘURĂRILE CONCENTRATE ALE MAȘINILOR SINCRONE

Mașinile sincrone cu poli aparenți au înfășurarea de excitație de tipul înfășurărilor concentrate. În funcție de secțiunea conductorului, bobinele sînt executate din sîrmă, din bară sau din bandă, construcția lor fiind asemănătoare cu cea întîlnită la bobinele de excitație ale mașinilor de curent continuu.

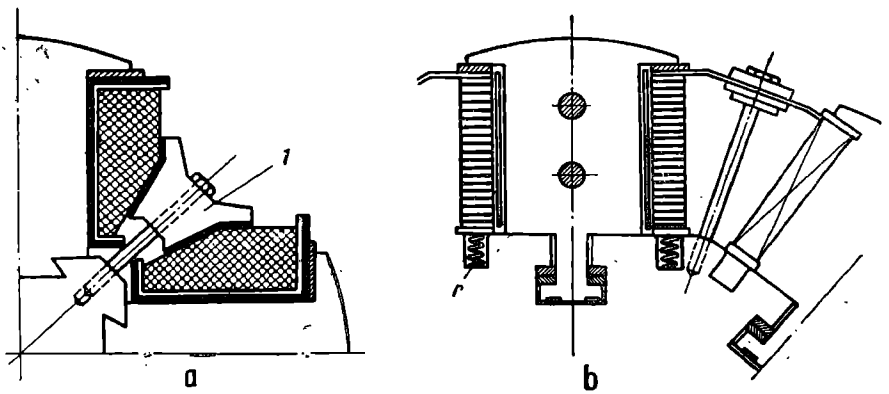


Fig. 3.8. Bobine polare folosite în construcția mașinilor sincrone:
a — executată cu conductor rotund; *b* — executată cu conductor de secțiune dreptunghiulară.

În fig. 3.8, *a* este reprezentată o secțiune transversală, parțială printr-un rotor al unei mașini sincrone de construcție normală. Bobina este executată din conductor de secțiune circulară. Forma bobinei este impusă de spațiul liber dintre poli. Bobina este construită cu sau fără casetă.

De remarcat că atît bobinele înfășurării de excitație ale mașinii sincrone cu poli așezați pe rotor, cît și legăturile dintre bobine se consolidează corespunzător pentru a rezista la forțele care se exercită asupra lor în timpul învîrtirii rotorului. Bobina este consolidată față de poli prin intermediul unei piese distanțoare *1*, din bronz turnat sau din aliaj de aluminiu, care au rolul de a menține bobina pe pol și de a împiedica deșirarea ei.

În fig. 3.8, *b* este reprezentată o secțiune printr-o bobină polară executată din bandă de cupru. Se observă că în acest caz bobina este presată axial de către un resort *r*, prin intermediul unei piese izolante, asigurîndu-se astfel consolidarea bobinei.

Înfășurările de excitație ale mașinilor sincrone cu poli așezați pe stator au forme constructive similare cu cele întîlnite la mașina de curent continuu.

3.5. DETERMINAREA DIMENSIUNILOR ÎNFĂȘURĂRILOR CONCENTRATE

La repararea înfășurărilor de tip concentrat sau la rebobinarea mașinilor electrice pentru alte caracteristici decît cele pentru care au fost construite inițial, se pune problema calculului înfășurărilor de excitație.

Prin calcul trebuie să se determine :

— numărul de spire ale bobinei, w_e ;
— secțiunea conductorului, S_c ;
— dimensiunile constructive ale bobinei ;
— curentul de excitație i_e.

Determinarea numărului de spire și calculul secțiunii conductorului. Înfășurarea de excitație parcursă de curentul i_e trebuie să producă cîmpul magnetic inductor necesar ; solenația de excitație (amperspirele de excitație) $w_e i_e$ pe polul inductor este determinată de cîmpul magnetic inductor, în conformitate cu relația aproximativă

$$w_e i_e \approx 1\,600\,\delta B_\delta, \tag{3.1}$$

în care δ este întrefierul sub polul principal, măsurat în milimetri, iar B_δ este inducția magnetică în întrefierul mașinii, care se alege între valorile 0,4 și 0,7 Wb/m^2, în funcție de puterea mașinii.

Pentru calculul numărului de spire w_e pe pol și al curentului i_e trebuie să se mai cunoască tensiunea la bornele înfășurării de excitație, U_b, așa cum este cazul la înfășurările de excitație ale mașinilor

sincrone și ale celor de curent continuu cu excitație independentă sau derivație ; înfășurarea trebuie executată astfel încît să aibă o rezistență potrivită pentru ca, la un număr de spire dat, să permită trecerea unui curent care rezultă din relația (3.1).

Aria secțiunii conductorului se calculează cu relația

$$S_c = \rho \frac{2pl_m (w_e i_e)}{U_b} \tag{3.2a}$$

în care l_m este lungimea spirei medii a bobinei polare.

De regulă, secțiunea conductorului se ia ceva mai mare pentru a se obține o rezistență R mai mică și totodată, o tensiune la bornele înfășurării de excitație mai mică, deoarece o parte din tensiunea U_b (aproximativ 0,2 U_b) este preluată de reostatul de reglaj al excitației. Astfel, pentru secțiunea conductorului rezultă relația

$$\boxed{S_c = \rho \frac{2pl_m (w_e i_e)}{0{,}8\, U_b}}. \tag{3.2b}$$

Cunoscînd pe S_c se alege densitatea curentului prin înfășurarea de excitație $J = 1{,}5 \ldots 2{,}5$ A/mm^2 și se obține curentul de excitație

$$\boxed{i_e = S_c J} \tag{3.3a}$$

iar cu acesta, din produsul $w_e i_e$, se obține numărul de spire pe bobina polară

$$\boxed{w_e = \frac{(w_e i_e)}{i_e} \approx \frac{1\,600\, \delta B_\delta}{i_e}}. \tag{3.4}$$

Există și înfășurări la care nu se cunoaște tensiunea U_b la borne, ci curentul i_e. Din această categorie fac parte înfășurările de excitație serie, înfășurările polilor auxiliari și înfășurările de compensare, la care curentul de excitație i_e este egal cu curentul I din indus. Numărul de spire pe bobină la aceste înfășurări se determină imediat din produsul $w_e i_e$, cu ajutorul relației (3.4).

Secțiunea conductorului se determină astfel :

— se alege densitatea de curent $J = (2{,}5 \ldots 4)$ A/mm^2 (valorile mai mici corespund înfășurărilor cu spire multe și cu izolație exterioară, iar valorile mari corespund înfășurărilor cu spire puține și realizate cu conductor neizolat) ;

— apoi din relaţia

$$S_c = \frac{i_e}{J}. \tag{3.3b}$$

se calculează secţiunea S_c a conductorului, împărţind curentul i_e densitatea de curent J aleasă.

Determinarea dimensiunilor bobinei; calculul rezistenţei înfăşurărilor.

Numărul de spire şi secţiunea conductorului fiind astfel determinate, iar dimensiunile bobinei rezultînd din dimensiunile miezului polar, după ce se aleg şi dimensiunile conductorului, se poate determina numărul de spire pe strat. Pînă la o secţiune a conductorului egală cu 4—6 mm^2 se alege un conductor de secţiune rotundă, iar peste 4—6 mm^2 se alege conductor de secţiune dreptunghiulară.

Să notăm dimensiunile exterioare (de gabarit) ale unei bobine polare astfel (v. fig. 3.1) : a_e — lăţimea exterioară ; b_e — lungimea exterioară ; h — înălţimea şi corespunzător pe cele interioare ; a_i — lăţimea interioară ; b_i — lungimea interioară.

În cazul folosirii conductorului de secţiune rotundă, care are diametrul izolat d_{iz}, pe un strat al bobinei rezultă un număr de spire egal cu

$$w_{str} = \frac{h}{a_{iz}} - 1, \tag{3.5}$$

iar numărul de straturi este

$$n_{str} = \frac{w_e}{w_{str}}. \tag{3.6}$$

Cunoscînd numărul de straturi se pot determina dimensiunile exterioare a_e şi b_e ale bobinei, cele interioare a_i, b_i şi h fiind cunoscute, deoarece sînt date de dimensiunile polului la care se adaugă grosimea carcasei izolante a bobinei şi mărimea jocului dintre pol şi casetă. Se obţine astfel :

$$b_e = b_i + 2n_{str}(d_{iz} + \Delta_{iz}); \tag{3.7a}$$

$$a_e = a_i + 2n_{str}(d_{iz} + \Delta_{iz}), \tag{3.7b}$$

unde Δ_{iz} reprezintă grosimea izolaţiei suplimentare dintre straturi.

În mod asemănător se determină şi caracteristicile bobinei cînd conductorul este de secţiune dreptunghiulară.

Pentru calculul lungimii conductorului în vederea determinării rezistenței electrice a înfășurărilor, precum și pentru calculul greutății de cupru a bobinei polare, se utilizează dimensiunile medii a și b ale bobinei, exprimate în funcție de a_e, a_i și b_e, b_i, adică

$$a=\frac{a_e+a_i}{2}, \tag{3.8}$$

$$b=\frac{b_e+b_i}{2}. \tag{3.9}$$

Cu ajutorul acestor dimensiuni medii se determină lungimea spirei medii

$$l_m=2a+2b, \tag{3.10}$$

iar lungimea totală a conductorului utilizat pentru confecționarea bobinei polare este

$$l_p=l_m w_e. \tag{3.11}$$

Rezistența electrică a înfășurării unui pol este

$$R_p=\rho\frac{l_p}{S_c}=\rho w_e\frac{l_m}{S_c}\,[\Omega], \tag{3.12}$$

unde : ρ este rezistivitatea materialului din care este executat conductorul, în $[\Omega\cdot \text{mm}^2/\text{m}]$;
l_m — lungimea spirei, medii, în m ;
S_c — secțiunea conductorului, în mm^2 ;

dacă conductorul este rotund, cu diametrul d, secțiunea sa este

$$S_c=\frac{3{,}14\,d^2}{4}=0{,}785\,d^2,$$

dacă conductorul este dreptunghiular, avînd dimensiunile a_c și b_c, secțiunea sa este

$$S_c=a_c b_c.$$

Rezistența electrică a întregii înfășurări de excitație a celor $2p$ poli va fi

$$R_e=2pw_e\rho\frac{l_m}{S_c}\,[\Omega]. \tag{3.13}$$

4. Înfășurările tip indus de curent continuu

4.1. TIPURI DE ÎNFĂȘURĂRI

4.1.1. Descriere. Domeniu de utilizare

Înfășurările tip indus de curent continuu sînt denumite în acest fel deoarece sînt așezate pe rotorul (indusul) tuturor mașinilor de curent continuu cu colector. Ele sînt de asemenea utilizate și în construcția mașinilor de curent alternativ cu colector, cum sînt : motoarele asincrone serie cu colector, motoarele asincrone cu repulsie, motoarele asincrone derivație și altele.

Înfășurările tip indus de curent continuu sînt înfășurări repartizate, deoarece sînt așezate în crestăturile repartizate uniform la periferia miezului feromagnetic.

În construcția mașinilor electrice de curent continuu a apărut la început un tip de înfășurare de curent continuu, denumit *înfășurare în inel*, reprezentată schematic în fig. 4.1.

Legătura electrică dintre conductoarele *1, 2, 3, 4, . . . , 16*, așezate pe periferia exterioară a pachetului de tole în formă de inel, este realizată de conductoarele *1′, 2′, 3′, 4′, . . . , 16′*, așezate pe suprafața interioară a inelului.

Conductoarele *1, 2, 3, 4, . . . , 16* se numesc *conductoare active*, deoarece, fiind situate în cîmpul inductor, în timpul învîrtirii rotorului în ele se vor induce tensiuni electromotoare, spre deosebire de conductoarele *1′, 2′, 3′, 4′, . . . , 16′*, care au numai rolul de conductoare de legătură. În fig. 4.1, între două lamele consecutive ale colectorului, de exemplu între lamelele *1* și *2*, se află astfel numai un singur conductor activ, conductorul *2*.

În prezent la mașinile de curent continuu se folosește un alt tip de înfășurare, denumit *înfășurare în tambur sau în tobă*. În fig. 4.2, sînt reprezentate schematic două rotoare de mașini de curent continuu avînd înfășurarea indusului în inel (fig. 4.2, *a*) și în tobă sau în tambur (fig. 4.2, *b*). Spira reprezentată la rotorul în inel se compune dintr-un singur conductor de ducere activ (notat cu *a* în fig. 4.2,*a*) și un conductor de întoarcere inactiv (notat cu *i* în fig. 4.2,*a*). La rotorul în tobă ambele conductoare care formează spira sînt active (fig. 4.2,*b*) și anume conductoarele active de ducere sînt legate în serie cu conductoarele ac-

tive de întoarcere ; aceste conductoare se așază întotdeauna sub poli de nume contrar. În acest fel, între două lamele ale colectorului, la înfășurările în tobă se află întotdeauna minimum două conductoare active.

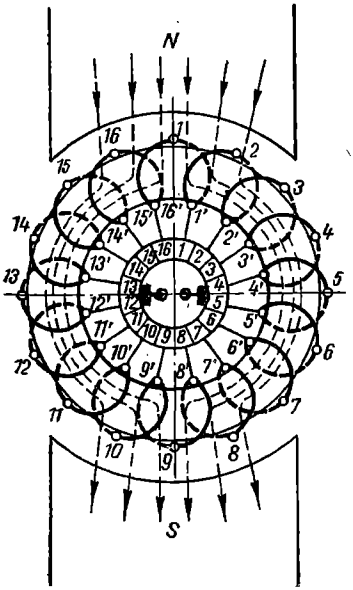


Fig. 4.1. Înfășurarea tip indus de curent continuu în inel.

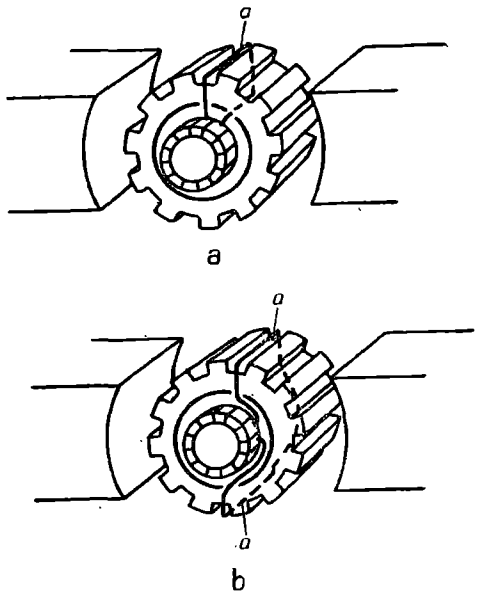


Fig. 4.2. Așezarea unei secții : *a* — la o înfășurare în inel ; *b* — la o înfășurare în tambur.

În fig. 4.3 este reprezentat un rotor de mașină de curent continuu cu înfășurarea în tambur. Așa cum se vede în această figură, bobinele înfășurării (notate cu *1*) sînt așezate în crestături uniform repartizate pe suprafața exterioară a pachetului de tole *2* al rotorului. Înfășurarea este legată prin intermediul conductoarelor *3* la lamelele colectorului *4*.

Înfășurările în tobă au luat locul celor în inel, datorită dezavantajelor pe care le prezintă înfășurările în inel ; dintre aceste dezavantaje, cele mai importante sînt :

— la rotoarele cu înfășurări în inel, miezul magnetic al indusului se fixează greu pe arbore ;

— înfășurarea trebuie executată spiră lîngă spiră, direct pe indus, procesul tehnologic de execuție devenind foarte greoi ;

— conductoarele din interiorul inelului (conductoarele de legătură) se răcesc mai greu ;

— tensiunea electromotoare culeasă la perii este produsă numai de jumătate din conductoarele înfășurării (conductoarele active), ceea

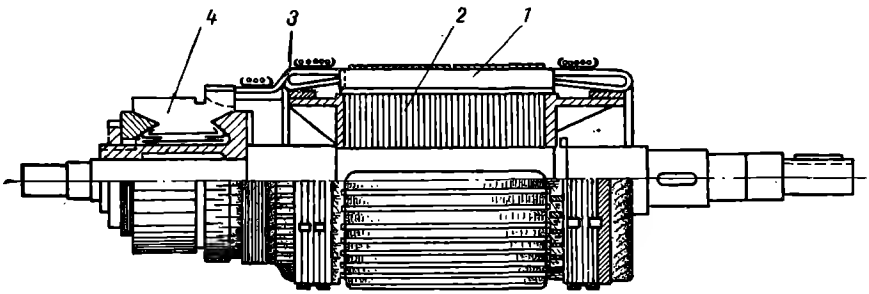


Fig. 4.3. Rotorul unei mașini de curent continuu cu înfășurare tip indus de curent continuu în tambur.

ce înseamnă că la aceeași valoare a tensiunii electromotoare, cantitatea de cupru la înfășurarea în inel este mai mare decît la înfășurarea în tobă.

Un avantaj însemnat al înfășurării în inel constă în aceea că poate fi folosit pentru orice număr de poli.

De asemenea, în cazul mașinilor bipolare scurte și avînd diametrul indusului mare (de exemplu la compensatoarele de fază ale motoarelor asincrone), înfășurarea în inel necesită o cantitate mai redusă de material conductor.

În cele ce urmează ne vom ocupa numai de înfășurările în tambur.

4.2. CONSTRUCȚIA ÎNFĂȘURĂRILOR TIP INDUS DE CURENT CONTINUU. TIPURI DE ÎNFĂȘURĂRI

4.2.1. Elementele componente

a. *Conductorul și spira*

Înfășurările tip indus de curent continuu sînt alcătuite din *conductoare* așezate în crestăturile situate la periferia exterioară a pachetului de tole al rotorului.

Partea activă a conductorului o reprezintă numai porțiunea situată în crestătura indusului.

Spira este alcătuită din două conductoare, unul fiind de ducere și celălalt de întoarcere (corespunzător sensului săgeților din fig 4.4), legate între ele la capete. Deschiderea *Y* a spirei este aproximativ egală cu pasul polar τ.

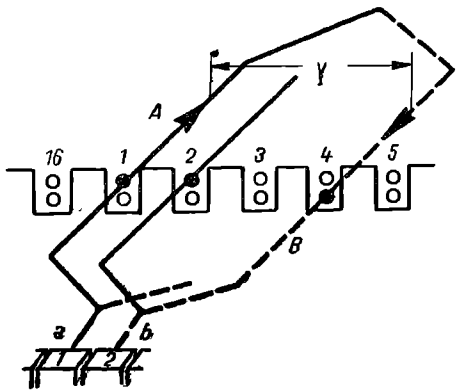


Fig. 4.4. Spira :
A — conductorul de ducere; *B* — conductorul de întoarcere.

b. *Bobina*

În cazul mașinilor de curent continuu de putere mică și tensiuni ridicate, între două lamele ale colectorului sînt cuprinse mai multe spire grupate din punct de vedere constructiv în aceleași crestături sau în crestături apropiate și legate în serie, așa cum s-au reprezentat în fig. 4.5.

Totalitatea spirelor înseriate cuprinse între două lamele succesive ale colectorului constituie o bobină.

În fig. 4.5, *a* este reprezentată o bobină cu mai multe spire avînd latura de ducere (latura din stînga) așezată într-o crestătură, iar latura de întoarcere (latura din dreapta) în altă crestătură ; în fig. 4.5,*b*, latura de întoarcere a bobinei este dispusă în două crestături alăturate.

Bobinele reprezentate în fig. 4.5, *a* și *b* au cîte două laturi notate cu *I* și *II*. Latura *I* conține conductoare de ducere și se numește *latură de ducere*, iar latura *II* conține conductoare de întoarcere și se numește *latură de întoarcere*.

În fig. 4.6, *a* este reprezentată o bobină, iar în fig. 4.6, *b* sînt reprezentate două bobine conectate în serie între două lamele consecutive.

Oricare ar fi tipul de înfășurare de curent continuu, o bobină are un număr par (cu soț) de laturi.

În fig. 4.7 sînt notate cu *l* — lungimea de conductor activ, cu 2 *a*, respectiv 2 *b* — lungimile capetelor de bobine.

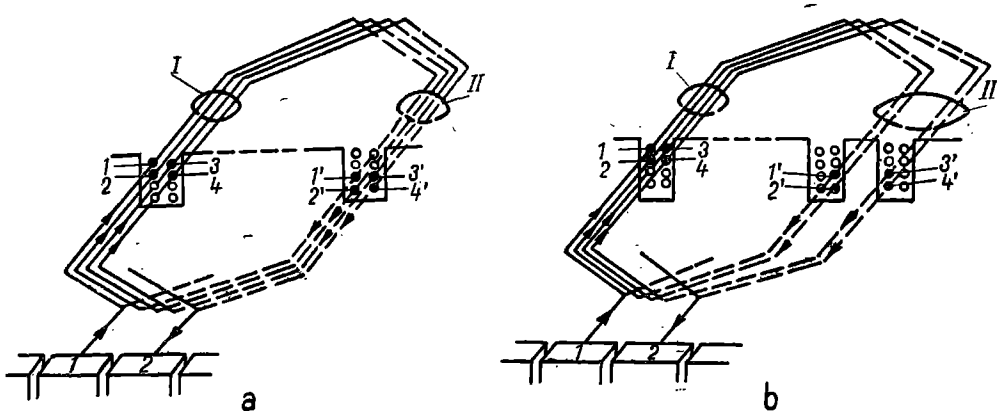


Fig. 4.5. Bobina :
a — porțiunea de înfășurare dintre două lamele, formată dintr-o singură bobină; *b* — porțiunea de înfășurare dintre două lamele, formată din două bobine; *I* — latura de ducere; *II* — latura de întoarcere.

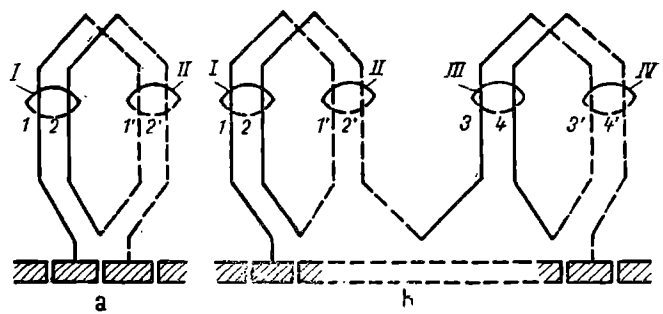


Fig. 4.6. Bobine :
a — cu două laturi; *b* — cu patru laturi.

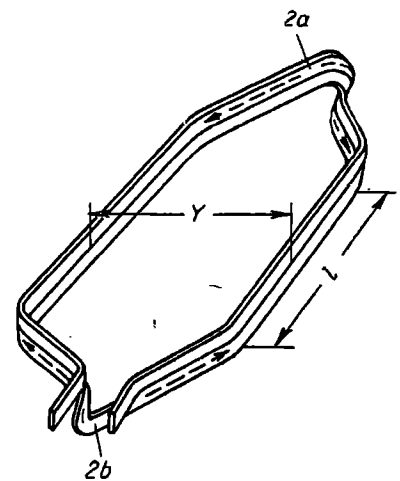


Fig. 4.7. Elementele componente ale bobinei.

4.2.2. Reprezentarea schematică a înfășurărilor. Calea de curent

În practica curentă, înfășurările se reprezintă schematic; se folosesc două tipuri de scheme: schema în evolventă și schema desfășurată în plan.

În fig. 4.8 este reprezentată schema în evolventă a unei înfășurări în tambur tip indus de curent continuu, a unei mașini cu patru poli. În această figură, în afară de conductoarele înfășurării mai sînt re-

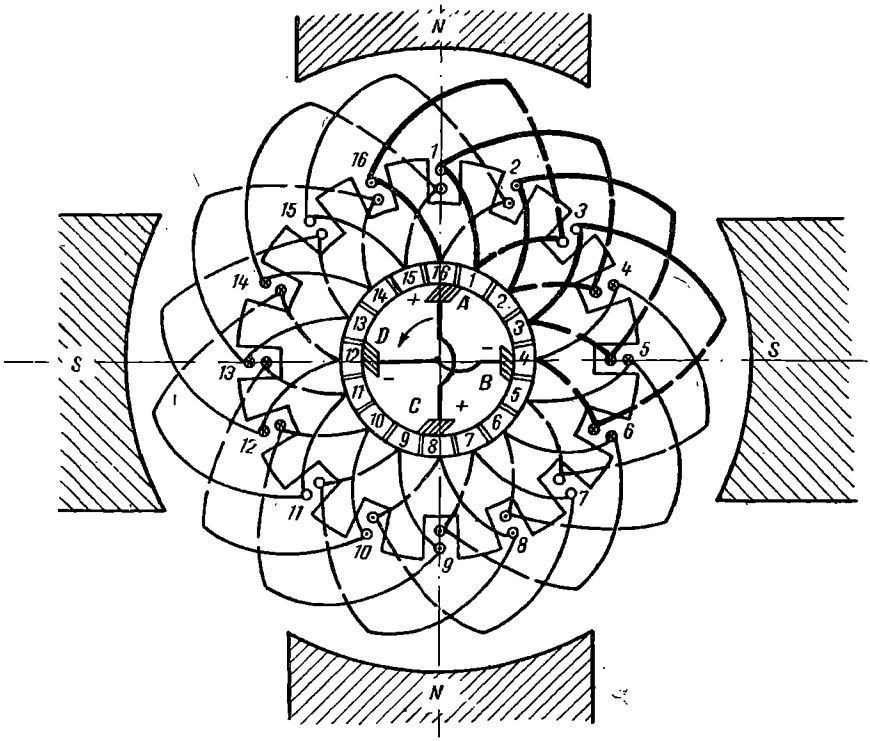


Fig. 4.8. Schema de evolventă a unei înfășurări tip indus de curent continuu, avînd $Z=16$ crestături; $K=16$ lamele și $2p=4$ poli.

prezentate tola rotorului și lamelele colectorului. Conductoarele de legătură sînt reprezentate prin segmente de cerc, astfel: legăturile la colector sînt duse în interiorul perimetrului tolei, iar legăturile

din partea opusă colectorului sînt trasate în exteriorul tolei. Această reprezentare corespunde vederii dinspre colector a înfășurării.

Capetele fiecărei bobine sînt legate în fig. 4.8 la două lamele succesive ale colectorului, așa că la fiecare lamelă a colectorului sînt racordate capetele a două bobine și anume : ieșirea din bobina parcursă și intrarea în bobina ce urmează a fi parcursă.

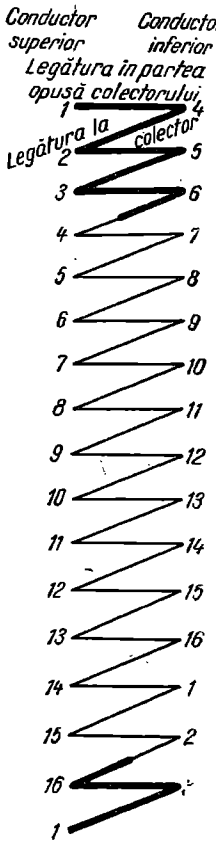


Fig. 4.9. Succesiunea conductoarelor în circuitul înfășurării.

Înfășurarea reprezentată în fig. 4.8 se parcurge astfel : se pornește de exemplu de la crestătura *1*, se urmărește conductorul activ superior legat la lamela *1* a colectorului, se trece prin conductorul de legătură din partea opusă colectorului și se ajunge la conductorul inferior din crestătura *4*, care este legat la lamela *2* a colectorului, de la care se ajunge apoi la conductorul superior din crestătura *2* și așa mai departe. În felul acesta se parcurge întreaga înfășurare, ajungîndu-se în cele din urmă din nou la lamela *1*, de unde s-a pornit și înfășurarea se închide.

În fig. 4.9 se arată succesiunea conductoarelor active așezate în cele 16 crestături ale înfășurării reprezentate în fig. 4.8.

Considerînd periile *A, B, C, D*, așezate pe colector, cu polaritatea reprezentată în fig. 4.8, între două perii consecutive există trei lamele de colector și o porțiune de înfășurare formată din patru bobine. Cum toată înfășurarea la care ne-am referit are 16 bobine, rezultă că cele patru perii împart înfășurarea în patru porțiuni egale.

Porțiunea de înfășurare cuprinsă la un moment dat între două perii consecutive și de polarități diferite (de exemplu între periile A și B), se numește cale de curent.

Între două perii consecutive pot fi cuprinse mai multe căi de curent : de exemplu la înfășurarea bipolară simplă între perii sînt cuprinse două căi de curent.

Numărul căilor de curent în care este împărțită o înfășurare este întotdeauna un număr cu soț (de aceea se notează cu $2a$, a fiind numărul de perechi de căi de curent). Numărul minim de căi de curent ale unei înfășurări tip indus de curent continuu este doi ($a=1$). În

fig. 4.8 și 4.9 s-a reprezentat prin linii îngroșate calea de curent cuprinsă între periile A și B.

Un alt mod de reprezentare a înfășurării tip indus de curent continuu este indicat în fig. 4.10 în care s-a desenat o înfășurare desfă-

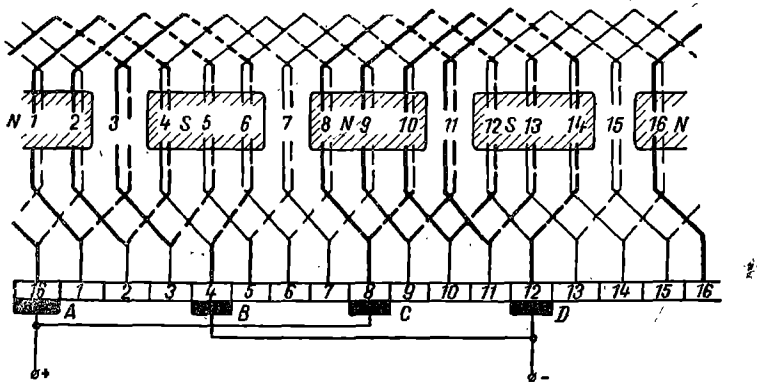


Fig. 4.10. Reprezentarea desfășurată a unei înfășurări tip indus de curent continuu, avînd $Z=16$ crestături, $K=16$ lamele și $2p=4$ poli.

șurată în plan ; înfășurarea din această figură are aceleași caracteristici cu înfășurarea reprezentată în fig. 4.8. S-au reprezentat cu linii pline laturile de ducere ale spirelor care poartă același număr cu lamela de colector la care sînt legate, iar cu linii întrerupte s-au reprezentat laturile de întoarcere ; cu linii îngroșate s-au reprezentat căile de curent cuprinse între periile A și B, respectiv C și D. În aceste scheme, în cazul bobinelor constituite din mai multe spire, nu se reprezintă conductoarele și nici spirele, ci laturile bobinelor.

Pe schema desfășurată se mai reprezintă polii mașinii precum și periile.

Reprezentarea desfășurată a înfășurărilor este mai simplă și în cele ce urmează se va folosi cu preferință această reprezentare.

4.2.3. Pașii înfășurării

a. *Pasul bobinelor*

În fig. 4.7 s-a notat cu Y deschiderea bobinei. După cum deschiderea Y a bobinei este egală sau diferită de pasul polar τ, se disting două tipuri de înfășurări de curent continuu, și anume : *înfășurări cu pas diametral* și *înfășurări cu pas scurtat.*

Înfășurările cu pas diametral (fig. 4.11, *a*, în care s-a considerat că bobina se compune dintr-o singură spiră) au deschiderea Y a bobinei egală cu pasul polar τ.

Înfășurările cu pas scurtat au deschiderea bobinei diferită de pasul polar τ, așa cum este cazul înfășurării reprezentate în fig. 4.11, *b*,

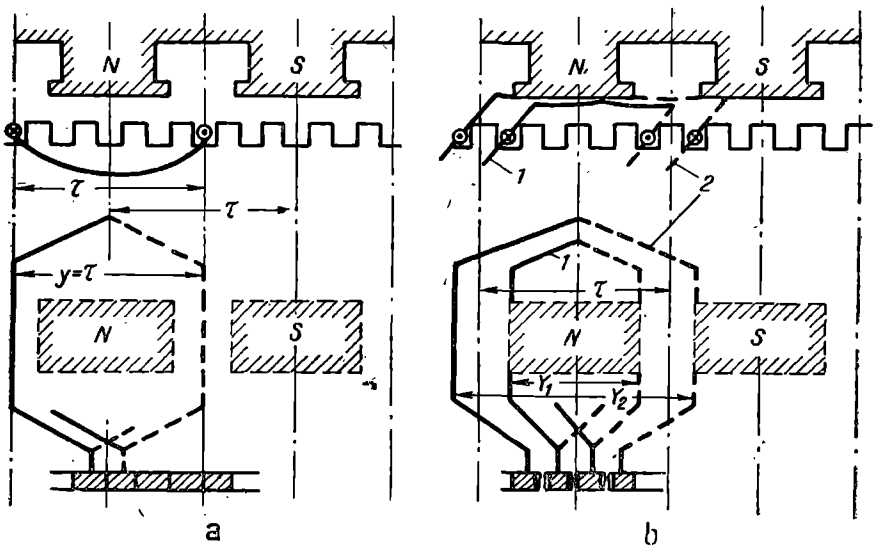


Fig. 4.11. Tipuri de bobine :
a — bobina la înfășurări cu pas diametral; *b* — respectiv la înfășurări cu pas scurtat.

pentru bobina *1* sau *2*. În cazul cînd deschiderea Y_1 este mai mică decît pasul polar τ (bobina *1* din fig. 4.11, *b*), înfășurarea este cu pas scurtat. În cazul cînd deschiderea Y_2 este mai mare decît pasul polar τ, înfășurarea este numită cu pas lungit (bobina *2* din fig. 4.11, *b*).

Prin creșterea deschiderii bobinei față de pasul polar, fluxul îmbrățișat de bobină scade și efectul creșterii deschiderii este același ca în cazul scurtării ; înfășurările cu pas lungit se comportă ca și înfășurările cu pas scurtat și fac parte din aceeași categorie de înfășurări, denumite înfășurări cu pas scurtat. Prin creșterea deschiderii bobinei față de pasul polar, se lungesc capetele de bobină și înfășurarea necesită o cantitate mai mare de material conductor.

b. *Crestătura elementară. Definirea pașilor înfășurării*

Deschiderea bobinei, notată în fig. 4.7 cu Y, se măsoară în milimetri sau centimetri, adică în aceleași unități în care se măsoară și pasul polar τ. Ea servește pentru executarea bobinelor. La bobinare însă nu se poate aplica măsurarea periferiei rotorului și a poziției conductoarelor în unități de lungime. De aceea, în practică, pentru întocmirea și citirea schemelor de bobinaj și pentru executarea înfășurărilor, *pasul bobinei* se măsoară fie *în număr de crestături*, fie *în număr de lamele la colector*, corespunzător laturilor de bobine dintr-un strat cuprinse între laturile unei bobine.

În teoria înfășurărilor se întîlnește și noțiunea de crestături elementare, care diferă de crestăturile reale (geometrice).

Perechea de laturi (aparținînd la două bobine diferite) formată dintr-o latură superioară și una inferioară din aceeași crestătură a fost denumită *crestătură elementară*. În fig. 4.12, *a* crestătura reală conține numai o pereche de laturi (una superioară și alta inferioară) și de aceea ea coincide cu o crestătură elementară ; crestăturile reale din fig. 4.12, *b* și *c*, conțin mai mult decît o pereche le laturi și sînt formate din două, respectiv trei crestături elementare.

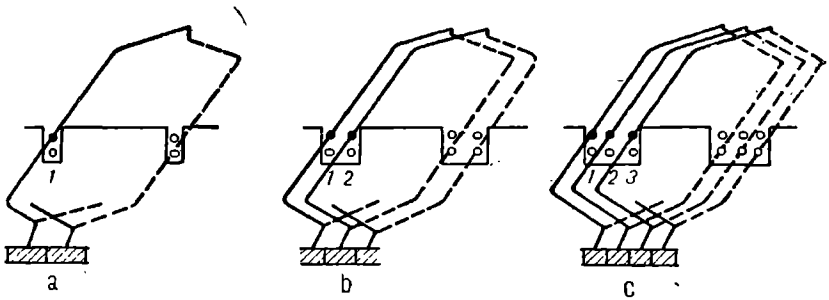


Fig. 4.12. Crestături reale (geometrice) conținînd :
a — o crestătură elementară; *b* — două crestături elementare; *c* — trei crestături elementare.

De obicei, pasul bobinei se exprimă în număr de crestături reale, iar pașii de înfășurare, în număr de lamele la colector (la înfășurările la care numărul de lamele la colector este egal cu numărul crestăturilor, pasul exprimat în număr de lamele este egal cu pasul exprimat în crestături).

La înfășurările obișnuite, între numărul de crestături geometrice Z, numărul u de laturi de ducere ale bobinelor dintr-o

crestătură (egal cu numărul de crestături elementare dintr-o crestătură reală) și numărul K de lamele la colector există relația

$$Zu = K. \tag{4.1}$$

Pasul dintre latura de ducere (latura din stînga) și latura de întoarcere a aceleiași bobine (latura din dreapta) este denumit *pasul la spate* al înfășurării, *pasul de întoarcere* sau *primul pas al înfășurării*. Acesta corespunde pasului bobinei și se notează cu y_1, așa cum se indică în figura 4.13; pasul y se măsoară între laturile aceleiași bobine (latura *1-1'* și latura *2-2'* în fig. 4.13). Pe această figură s-au reprezentat sensurile de parcurgere a conductoarelor; laturile *1-1'* și *3-3'* sînt laturi de ducere, iar laturile *2-2'* și *4-4'* sînt laturi de întoarcere

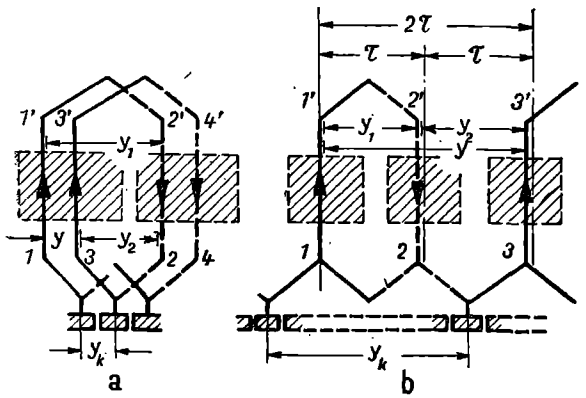


Fig. 4.13. Pașii înfășurării tip indus de curent continuu:
a — înfășurarea buclată (avînd $y = y_1 - y_2$); *b* — înfășurare ondulată (avînd $y = y_1 + y_2$).

Pasul legăturii dintre latura de întoarcere a unei bobine și latura de ducere a bobinei următoare, exprimat prin numărul de crestături elementare (respectiv de lamele de colector), se numește *pasul în față, pasul la ducere* sau *al doilea pas al înfășurării*. Acest pas se notează cu y_2 (fig. 4.13) și se măsoară între latura *2-2'* a bobinei *1-1'*, *2-2'* și latura *3-3'* a bobinei *3-3'*, *4-4'* din fig. 4.13.

Este foarte important de reținut sensul de parcurgere a periferiei rotorului la măsurarea pasului la spate și a pasului în față, pentru a putea da semnul corespunzător valorii pașilor respectivi. Pasul la spate y_1 măsurat de la latura *1-1'* la latura *2-2'* (fig. 4.13, *a* și *b*) se ia întotdeauna cu semn pozitiv. Dacă sensul de parcurgere de la latura *2-2'* pînă la latura *3-3'* este invers sensului de parcurgere de la latura *1-1'* la latura *2-2'* (luat ca sens pozitiv), atunci pasul în față este negativ, adică valoarea sa este $-y_2$, așa cum este cazul în fig. 4.13, *a*. Cînd pentru a măsura pasul y_2 se parcurge înfășurarea de la latura *2-2'* la latura *3-3'* în același sens ca pentru măsurarea pasului la

spate y_1 (așa cum este cazul în fig. 4.13, *b*), pasul y_2 este pozitiv, iar valoarea sa este y_2.

Se numește *pasul rezultant* al înfășurării și se notează cu y, intervalul dintre laturile de ducere ale bobinelor care se succed la colector (în circuitul înfășurării).

Valoarea pasului rezultant se exprimă de asemenea în număr de lamele de colector sau de crestături elementare, așa cum au fost exprimate și valorile pașilor y_1 și y_2.

Pentru exemplul din fig. 4.13, *a*, pasul rezultant se calculează cu relația

$$y = y_1 - y_2, \tag{4.2}$$

iar înfășurarea la care pasul în față este de semn contrar pasului la spate se numește *înfășurare buclată*.

Pasul rezultant y poate fi egal cu 1, 2 sau 3. Dacă $y=1$ înfășurarea se numește *buclată simplă*; la aceasta, o dată cu primul înconjur al rotorului se ocupă toate crestăturile. Dacă $y=2$, înfășurarea se numește *buclată dublă*; în acest caz, pentru ocuparea tuturor crestăturilor trebuie înconjurată periferia rotorului (sau a colectorului) de două ori. Valoarea pasului rezultant se notează cu m și se numește ordinul de multiplicitate al înfășurării.

Pentru exemplul din fig. 4.13, *b*, pasul rezultant este

$$y = y_1 + y_2, \tag{4.3}$$

iar înfășurarea la care pasul y_2 are același semn cu pasul y_1 se numește *înfășurare ondulată*.

Dacă după primul înconjur se ajunge cu o lamelă în urma lamelei de la care s-a pornit, rezultă o înfășurare *ondulată simplă*; în cazul în care după efectuarea primului înconjur se ajunge cu 2, 3 sau mai multe lamele în urma lamelei de la care s-a început schema, rezultă o înfășurare *ondulată multiplă*.

c. *Înfășurări încrucișate și neîncrucișate*

La înfășurările buclate, la care pasul rezultant y este egal cu diferența pașilor de înfășurare y_1 și y_2, pasul în față y_2 trebuie să fie diferit de pasul la spate y_1. În cazul în care y_2 are o valoare mai mică decît y_1 (cazul din fig. 4.14, *a*), pasul rezultant y din relația (4.2) este pozitiv, iar sensul de parcurgere (de urmărire) a înfășurării pe pachetul de tole din rotor sau la colector va fi același cu sensul luat pentru y_1; înfășurarea este *neîncrucișată*, deoarece capetele aceleiași bobine de partea colectorului nu se încrucișează între ele. În cazul în care y_2 are o valoare mai mare decît y_1 (cazul din fig. 4.15, *a*), pasul rezultant y din relația (4.2) este negativ, iar sensul de parcurgere

(de urmărire) a înfășurării pe suprafața pachetului de tole din rotor sau la colector va fi invers (contrar) celui luat pentru y_1. În acest caz, legăturile la colector ale aceleiași secții ca și capetele de bobină dinspre colector se vor încrucișa (se vor suprapune), motiv pentru care acest tip de înfășurare buclată se numește *înfășurare încrucișată*.

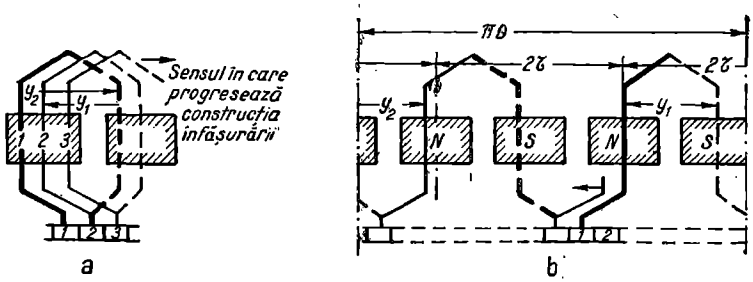


Fig. 4.14. Înfășurări neîncrucișate :
a — buclată; *b* — ondulată.

La *înfășurările ondulate*, la care pasul rezultant y este egal cu suma pașilor parțiali y_1 și y_2, pasul rezultant trebuie să difere de dublul pas polar $\frac{Zu}{p}$ pentru ca înfășurarea să poată fi executată. Dacă pasul rezultant ar fi egal cu dublul pasului polar $\left(y = \frac{Zu}{p}\right)$, atunci după ce rotorul a fost parcurs o dată s-ar ajunge la lamela de plecare, iar înfășurarea s-ar închide fără a se fi ocupat toate crestăturile.

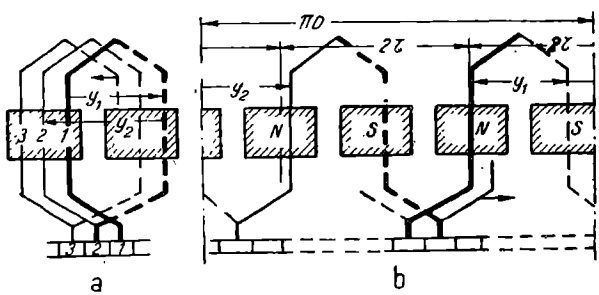


Fig. 4.15. Înfășurări încrucișate :
a — buclată; *b* — ondulată.

În cazul în care pasul rezultant este mai mic decît dublul pas polar, legăturile la lamelele de colector ale înconjururilor succesive (în circuitul înfășurării) nu se vor încrucișa și înfășurarea se numește *înfășurare ondulată neîncrucișată* (fig. 4.14, *b*).

Cînd pasul rezultant al înfășurării este mai mare decît dublul pas polar (fig. 4.15, *b*), legăturile la lamelele înconjururilor succesive se vor încrucișa ; atunci înfășurarea ondulată respectivă se numește *înfășurare ondulată încrucișată.*

Sensul în care progresează înfășurarea încrucișată este același cu sensul pozitiv al pașilor y_1, y_2 și y, în timp ce la înfășurarea neîncrucișată sensul în care progresează înfășurarea este invers.

d. *Înfășurări cu bobine egale (denumite și înfășurări obișnuite sau normale) și înfășurări în trepte*

La înfășurările cu mai multe bobine pe crestătura geometrică, se întîlnesc construcții deosebite între ele.

Unele înfășurări sînt executate din bobine identice, toate avînd aceeași deschidere și grupate de fapt într-o singură bobină cu mai multe prize pentru executarea legăturilor la colector. Laturile de ducere dintr-o crestătură sînt conectate în serie cu laturile de întoarcere,

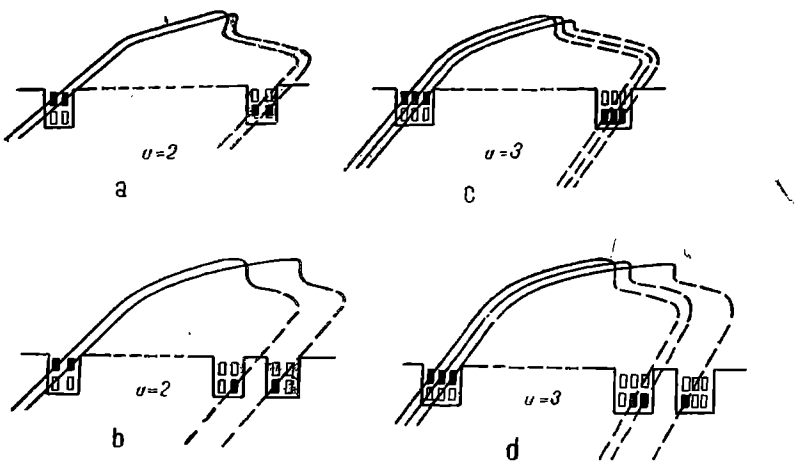


Fig. 4.16. Porțiune de înfășurare :
a și *c* — cu bobine egale; *b* și *d* — în trepte.

situate de asemenea într-o singură crestătură, (fig. 4.16, *a* și *c*). Înfășurarea executată astfel, cu bobine egale, este denumită *înfășurare obișnuită, normală* sau *cu bobine egale* și prezintă avantajul simplității pentru tehnologia de execuție.

După cum se vede în fig. 4.16, *a* și *c*, la înfășurările cu bobine egale, pasul y_1 se imparte exact la numărul de laturi u dintr-un strat al unei crestături.

Există însă și înfășurări la care o parte din bobine cu laturile de ducere situate în aceeași crestătură au deschideri diferite ; în acest caz laturile de întoarcere ale acestor bobine sînt așezate în crestături vecine (fig. 4.16, *b* și *d*). Deschiderea secțiilor diferă, de obicei, cu un pas de crestătură. Înfășurarea executată în acest fel se numește *înfășurare în trepte*. La înfășurările în trepte, pasul y_1 nu se împarte exact la numărul de laturi de bobină dintr-un strat situate în aceeași crestătură. Înfășurarea în trepte, deși mai greu de realizat tehnologic, prezintă avantaje în ceea ce privește comutația, permițînd o suprimare mai ușoară a scînteilor la colector.

4.2.4. Clasificarea înfășurărilor tip indus de curent continuu

Din cele prezentate mai înainte rezultă următoarea clasificare a înfășurărilor tip indus de curent continuu utilizate la mașinile de curent continuu și la mașinile de curent alternativ cu colector, prezentată în fig. 4.17.

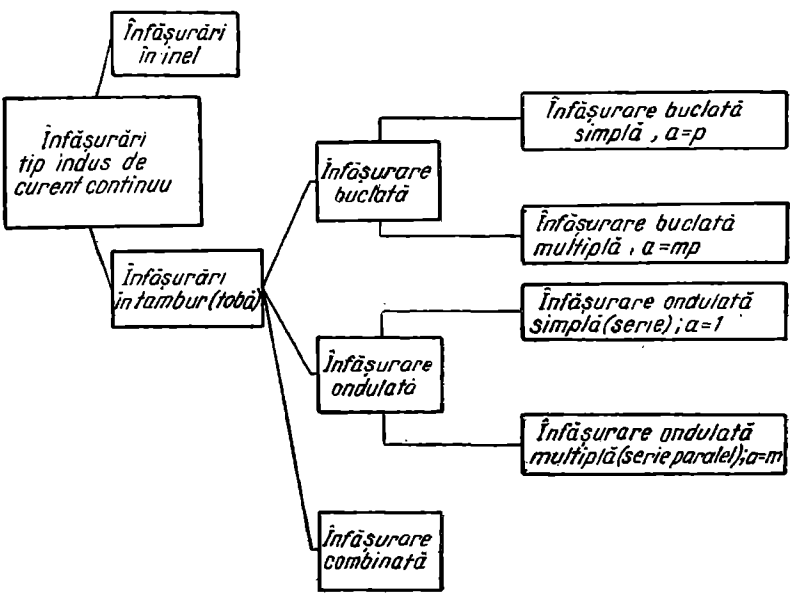


Fig. 4.17. Clasificarea înfășurărilor tip indus de curent continuu.

4.2.5. **Poziția diametrală a periilor de colector**

Valoarea tensiunii culeasă la perii depinde pentru o mașină dată de poziția periilor pe colector, în raport cu axa polilor.

Să considerăm o poziție oarecare a unui rotor în mișcare (fig. 4.18, *a*) și să stabilim repartiția tensiunii electromotoare induse

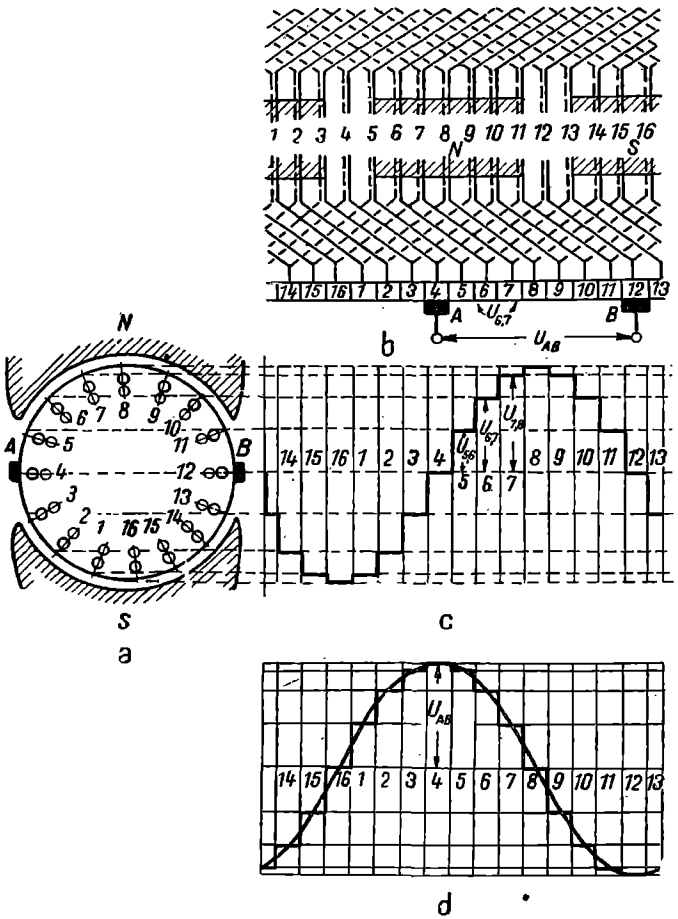


Fig. 4.18. Curba repartiției tensiunii electromotoare pe colector pentru o înfășurare tip indus de curent continuu, avînd $Z=16$, $2p=2$, $K=16$ și $y=1$:

a — rotorul în poziția cu crestăturile 4 și 12 în axa neutră; *b* — schema desfășurată a unei înfășurări buclate bipolare; *c* — curba tensiunii între lamelele vecine; *d* — curba tensiunii la perii.

în diferitele conductoare ; rotorul situat în cîmpul magnetic inductor repartizat sinusoidal în spațiu se învîrtește cu viteză constantă și trece prin această poziție.

În fig. 4.18, *b* este reprezentată desfășurat înfășurarea rotorului avînd $2p=2$ poli ; $Z=16$ crestături ; $K=16$ lamele ; $y=1$. Între lamelele luate două cîte două se obțin tensiunile conform diagramei din fig. 4.18, *c*. Din diagramă rezultă că între lamelele *4* și *5* se obține o tensiune nulă ; la aceste lamele este legată bobina avînd conductoarele active *4* (ducere) și *12* (întoarcere), care sînt situate pentru această poziție, chiar în axa neutră a mașinii. De asemenea, se obține o tensiune nulă între lamelele *12* și *13*, la care sînt legate extremitățile bobinei formată din conductoarele *12* (ducere) și *4* (întoarcere). Din această diagramă a repartiției tensiunilor între lamele rezultă că, pentru a obține la perii o tensiune maximă, acestea trebuie să fie așezate în dreptul lamelelor *4* și *12*. Din fig. 4.18 mai rezultă că din cauza legăturilor în față ale spirelor, poziția lamelelor *4* și *12* pe care sînt așezate periile corespunde cu axa polilor.

În fig. 4.18, *d* s-a reprezentat, prin curba în trepte, tensiunea la perii pentru diferite poziții ale periilor pe colector (periile fiind dispuse diametral, adică la interval de un pas polar raportat la colector), rotorul avînd poziția indicată în fig. 4.18, *a* ; din aceasta rezultă că dacă decalăm periile din axa neutră, tensiunea la perii scade ajungînd la zero cînd periile calcă pe lamelele *8-16*. Cînd periile sînt așezate pe lamelele de colector conectate la bobinele din axa neutră a polilor, tensiunea între două perii de polaritate diferită este maximă ; în acest caz se spune că periile sînt așezate în axa neutră a mașinii.

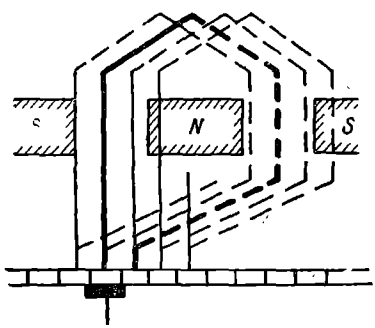


Fig. 4.19. Bobina cu capete nesimetrice.

Axa periilor poate să nu coincidă cu axa polilor, dacă bobina este executată cu capete nesimetrice, așa cum este reprezentată în fig. 4.19. Astfel de înfășurări nu se execută la mașinile mari, din cauză că acest tip de înfășurare necesită un consum mai mare de material conductor pentru capetele de bobină (capete de bobină se obțin mai scurte la bobinele cu capete simetrice).

4.2.6. Condiţiile generale pe care trebuie să le îndeplinească înfăşurările tip indus de curent continuu

Pentru ca maşina să aibă o funcţionare bună, înfăşurările tip indus de curent continuu trebuie să îndeplinească următoarele condiţii :

— înfăşurarea trebuie să fie închisă ; la înfăşurările deschise, o cale de curent este scoasă succesiv din circuit ; prin aceasta se reduce puterea maşinii, iar zona în care au loc întreruperea sau închiderea circuitului înfăşurării prin perie este însoţită de scîntei la colector ; de aceea, întreruperea înfăşurării indusului constituie unul dintre defectele înfăşurărilor ;

— înfăşurarea trebuie să fie simetrică ; la înfăşurările nesimetrice se produc curenţi de circulaţie prin înfăşurare, care tind să simetrizeze tensiunile induse ; aceşti curenţi produc pierderi suplimentare în înfăşurare, micşorează randamentul maşinii şi scurtează durata de viaţă a izolaţiei ; comutaţia maşinii este înrăutăţită ;

— conectarea în serie a bobinelor trebuie realizată astfel încît tensiunile induse pe calea de curent să se adune ; înserierea se realizează uşor ştiind că începuturile bobinelor care se succed în schema de conexiuni ocupă poziţii foarte apropiate sub acelaşi pol sau poziţii foarte apropiate faţă de diferiţi poli de aceeaşi polaritate.

Pentru a realiza o înfăşurare economică trebuie respectate următoarele condiţii :

— înfăşurarea trebuie să aibă capetele de bobină neîncrucişate ; în cele ce urmează ne vom ocupa îndeosebi de aceste tipuri de înfăşurări ;

— deschiderea bobinei la înfăşurările în tambur trebuie să fie aproximativ egală cu pasul polar, pentru ca tensiunea indusă în înfăşurare să fie maximă.

4.3. ÎNFĂŞURĂRILE ÎN TAMBUR

Înfăşurările în tambur (sau tobă) se execută de obicei ca înfăşurări în două straturi. Laturile de bobină sînt aşezate (fig. 4.20) una la fundul crestăturii, iar alta în partea superioară a acesteia.

Cînd s-au definit paşii în § 4.2.3, b, s-a văzut că se pot construi mai multe tipuri de înfăşurări în tambur, ele diferind după felul cum sînt legate bobinele la colector ; astfel se disting :

— *înfășurările buclate*, avînd capetele unei bobine legate la lamele vecine sau la lamele apropiate (v. fig. 4.14, *a* și 4.15, *a*) ;

— *înfășurările ondulate*, avînd capetele unei bobine legate la lamele distanțate una față de alta cu aproape dublul pasului polar (v. fig. 4.14, *b* și 4.15, *b*) ;

— *înfășurările combinate*, care constă din cîte o înfășurare buclată și una ondulată, situate în aceleași crestături sau în crestături vecine.

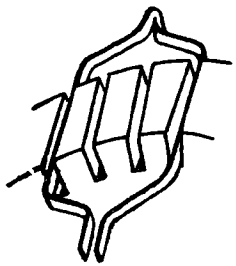


Fig. 4.20 Bobina unei înfășurări tip indus de curent continuu în tambur.

4.3.1. Înfășurările buclate

O caracteristică importantă a acestor înfășurări constă în aceea că se pot executa pentru oricare număr Z de crestături ale indusului.

Așa cum s-a arătat, înfășurările buclate sînt înfășurările tip indus de curent continuu la care pasul în față y_2 este de semn contrar cu pasul în spate y_1, astfel încît pasul rezultant al înfășurărilor de acest tip este [v. relația (4.2)]

$$y = y_1 - y_2.$$

Deschiderea bobinelor și corespunzător acesteia, pasul la spate sînt egale sau aproape egale cu pasul polar τ ; la un pas polar corespund $\frac{Z}{2p}$ crestături, respectiv $\frac{K}{2p}$ lamele ale colectorului (K fiind numărul total de lamele ale colectorului) ; de aceea, pasul la spate y_1 este dat de oricare din relațiile

$$y_1 = \frac{Z}{2p}, \text{ exprimat în crestături geometrice,}$$

sau

$$y_1 = \frac{K}{2p}, \text{ exprimat în lamele la colector (sau crestături elementare).}$$

În cazul în care numărul total de crestături Z ale rotorului se împarte exact la numărul de poli $2p$ ai mașinii, raportul $\frac{Z}{2p}$ este un număr întreg, iar înfășurarea se poate executa ca înfășurare cu pas diametral.

Pentru a rezulta o înfășurare simetrică cu același număr de bobine pe perechea de poli (la înfășurările nesimetrice apar curenți de circulație în înfășurare), numărul de crestături pe perechea de poli $\frac{Z}{p}$ trebuie să fie un număr întreg. La înfășurările având $u>1$, se recomandă ca $\frac{Z}{p}$ și $\frac{uZ}{p}$ să fie numere fără soț (impare).

Dacă într-o crestătură a rotorului sînt u crestături elementare, numărul total de crestături elementare este Zu; pentru exprimarea pasului la spate în număr de crestături elementare se poate scrie :

$$y_1 = \frac{Zu}{2p}. \tag{4.4}$$

O dată ales pasul rezultant y în funcție de tipul de înfășurare (simplă sau multiplă), pasul în față y_2 se calculează cu relația

$$y_2 = y_1 - y. \tag{4.5}$$

Valorile pașilor de înfășurare y_1, y_2 și y, exprimate fie în număr de crestături elementare, fie în număr de lamele la colector, trebuie să fie numere întregi.

Toate mașinile de curent continuu echipate cu înfășurări buclate în indus au un număr de tije portperii egal cu numărul de poli ai mașinii ; pe schemă se reprezintă prin urmare $2p$ perii.

În funcție de valoarea pasului rezultant y și de numărul de căi de curent $2a$, înfășurările buclate sînt de două tipuri :

a) înfășurări buclate simple ;

b) înfășurări buclate multiple.

a. *Înfășurările buclate simple*

Înfășurările buclate simple se închid o singură dată. La aceste înfășurări, pasul rezultant y, măsurat în număr de lamele de colector, este egal cu 1. Între pașii parțiali ai acestor înfășurări există relația

$$y_1 - y_2 = 1. \tag{4.6}$$

La înfășurările buclate simple, capetele fiecărei bobine se leagă la lamele de colector vecine și anume : începutul se leagă la lamela la care s-a conectat sfîrșitul bobinei precedente, iar sfîrșitul la lamela vecină la care se va lega începutul bobinei următoare.

Datorită legăturilor dintre periile cu aceeași polaritate, numărul căilor de curent ale înfășurărilor buclate simple este egal cu numărul de poli ai mașinii ($a=p$), la fel ca la înfășurările în inel.

Înfășurări buclate simple cu o bobină pe crestătură. În fig. 4.21 este reprezentată o înfășurare buclată simplă avînd $Z=20$ crestături,

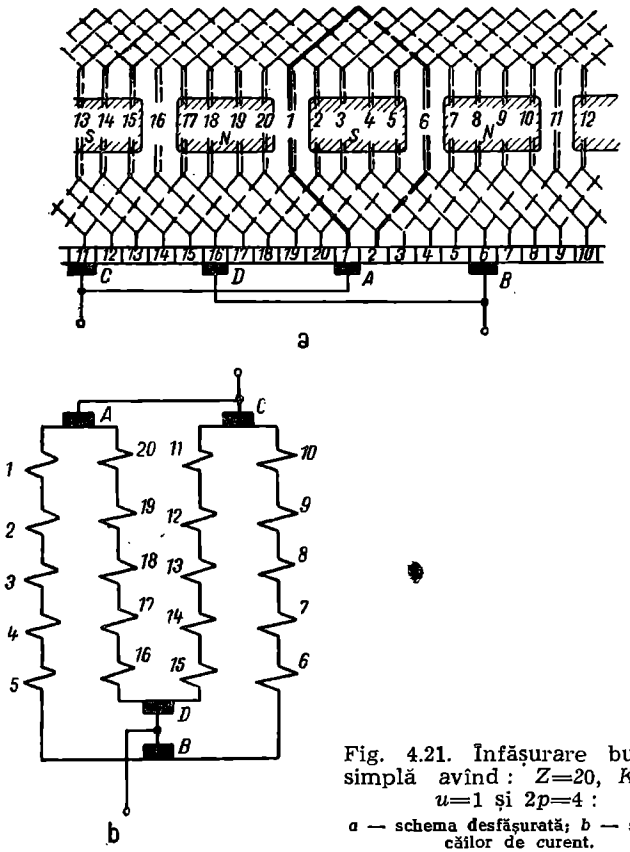


Fig. 4.21. Înfășurare buclată simplă avînd: $Z=20$, $K=20$, $u=1$ și $2p=4$:
a — schema desfășurată; *b* — schema căilor de curent.

$u=1$ bobină pe crestătură și $2p=4$ poli. Înfășurarea fiind buclată simplă, pasul rezultant este $y=1$. Numărul de lamele la colector este $K=Zu=20$. Numărul total de crestături ale rotorului este $Zu=20$.

Pasul la spate, exprimat în număr de lamele la colector, este

$$y_1=\frac{Zu}{2p}=\frac{20}{4}=5.$$

Pasul la spate fiind egal cu pasul polar, înfășurarea este diametrală.

Pasul în față rezultă :

$$y_2 = y_1 - y = 5 - 1 = 4.$$

Numărul de lamele fiind egal cu numărul de crestături, pașii $y_1 = 5$ și $y_2 = 4$ reprezintă și pașii în numere de crestături ale rotorului. Bobina desenată îngroșat în fig. 4.21,*a* reprezintă tipul de bobină utilizat la aceste înfășurări. Pentru claritate, schema desfășurată s-a reprezentat pe laturi de bobine și nu pe spire (adică, pornind de la crestătura *1* și revenind prin crestătura *6*, nu se va lega conductorul la lamela *2* decît după ce s-au parcurs toate spirele bobinei *1-6*). De asemenea s-a convenit ca lamelele de colector să poarte numărul laturii de ducere cu care este legată.

În fig. 4.21,*b* sînt reprezentate înserierea bobinelor înfășurării și poziția periilor ; din schemă se deduce numărul de căi de curent, $2a = 2p = 4$.

Înfășurări buclate simple cu mai multe bobine pe crestătură. În fig. 4.22 este reprezentată o înfășurare buclată simplă bipolară cu pas scurtat avînd $Z = 37$ crestături și $u = 2$ crestături elementare, executată cu bobine egale, respectiv în trepte. Înfășurarea fiind buclată simplă pasul rezultant este $y = 1$.

Numărul de lamele de colector este $K = Zu = 37 \cdot 2 = 74$ lamele.

La înfășurarea cu bobine egale, pasul la spate este $y_1 = \frac{K - \varepsilon}{2p} = \frac{74 - 2}{2} = 36$, măsurat în număr de lamele ; s-a luat $\varepsilon = 2$ și s-a obținut în acest caz o înfășurare cu pas scurtat cu bobine egale (deoarece $y_1 = 36$ se împarte exact la $u = 2$).

Pasul în față este $y_2 = y_1 - y = 36 - 1 = 35$.

În fig. 4.22, *a* este reprezentată parțial schema în evolventă a înfășurării ; se observă că în fiecare crestătură sînt două bobine, numerotate individual. Conform pașilor stabiliți mai înainte, conductorul *1* se leagă cu conductorul $(1 + 36) = 37$, iar acesta din urmă cu conductorul $(37 - 35) = 2$ și așa mai departe. În fig. 4.22, *b* s-au reprezentat schematic bobine ale acestei înfășurări. Bobinele înfășurării au aceeași deschidere (egală cu 18 crestături).

Dacă înfășurarea se execută *în trepte*, cu același număr de crestături și același număr de lamele, se poate lua $\varepsilon = 4$. Pasul la spate este $y_1 = \frac{K - 4}{2p} = \frac{74 - 4}{2} = 35$; $y_2 = y_1 - y = 35 - 1 = 34$.

În acest caz, pasul $y_1=35$ al înfășurării nu se mai împarte exact la numărul $n=2$ și înfășurarea nu se mai poate executa cu bobine egale.

După cum rezultă din fig. 4.22, *c* înfășurarea nu mai are bobinele cu deschiderea egală ; astfel, bobina *1-36* cuprinde 17 crestături, iar bobina *2-38* cuprinde 18 crestături, adică la laturile de dus *1-2* situate în aceeași crestătură corespund laturile de întors *36* și *37*, situate în crestături diferite. O asemenea înfășurare poartă denumirea de înfășurare în trepte și se comportă mai bine la comutație decît înfășurarea precedentă. În acest caz jumătate din bobine au deschiderea egală cu 17 crestături, iar cealaltă jumătate din numărul de

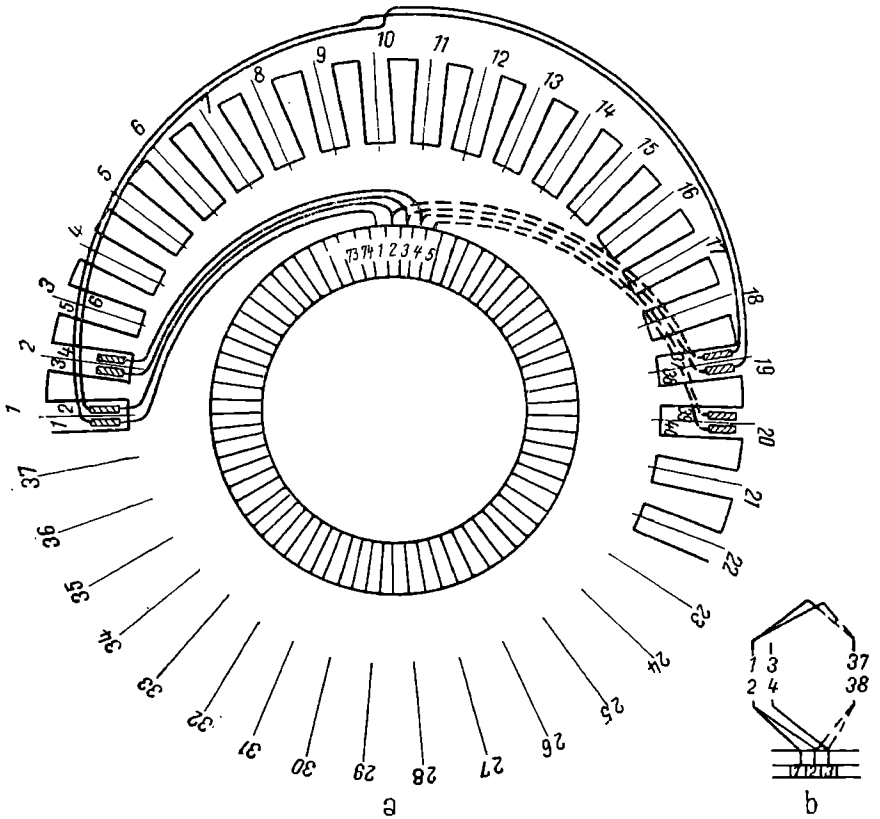


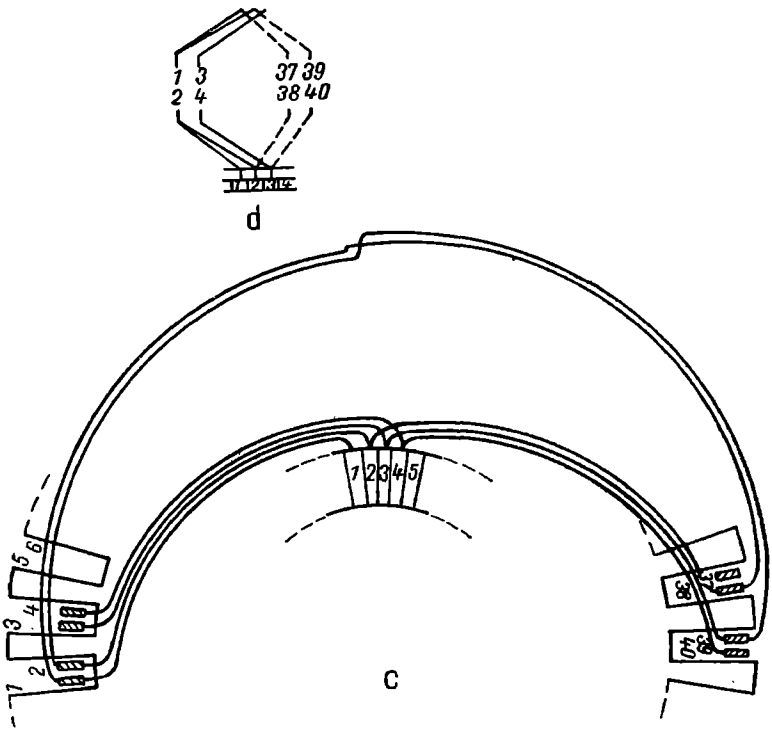
Fig. 4.22. Schema înfășurării buclate

a — schema în evolventă a înfășurării buclate simple bipolare, avînd $Z=37$, $K=74$, $y_1=36$; bipolare în trepte, avînd $Z=37$, $K=74$,

bobine au deschiderea egală cu 18 crestături. În consecinţă această înfăşurare necesită un consum mai redus de cupru decît înfăşurarea precedentă ; în schimb înfăşurarea se execută cu două tipuri de bobine. În fig. 4.22, *d* s-au reprezentat schematic bobine ale acestei înfăşurări.

În fig. 4.23, *a* şi *b* s-au reprezentat desfăşurat o înfăşurare executată cu bobine egale (fig. 4.23, *a*) şi respectiv cu bobine în trepte (fig. 4.23, *b*). De observat că la executarea înfăşurării reprezentate în fig. 4.23, *b* se folosesc două tipuri de bobine ; jumătate din bobine au deschiderea egală cu cinci crestături, iar cealaltă jumătate, şase crestături.

În cazul înfăşurării reprezentate în fig. 4.24, la care numărul laturilor de bobină ce revine unei crestături este egal cu 6, iar înfăşu-



simple bipolare, cu bobine egale :

b — schema unei bobine a înfăşurării; *c* — schema în evolventă a înfăşurării buclate $y_1=35$; *d* — schema unei bobine a înfăşurării.

rarea este executată în trepte, deschiderea bobinelor componente este egală cu trei crestături pentru două treimi din numărul bobinelor și respectiv cu patru crestături pentru o treime din numărul bobinelor.

De observat că raportul y_1/u determină deschiderea bobinelor exprimată în numere de crestături. La înfășurările cu bobine egale, y_1/u este un număr întreg (de exemplu la înfășurarea 4.22 *a*, $y_1=36$, $u=2$ și prin urmare deschiderea bobinei este $y_1/u=18$ crestături).

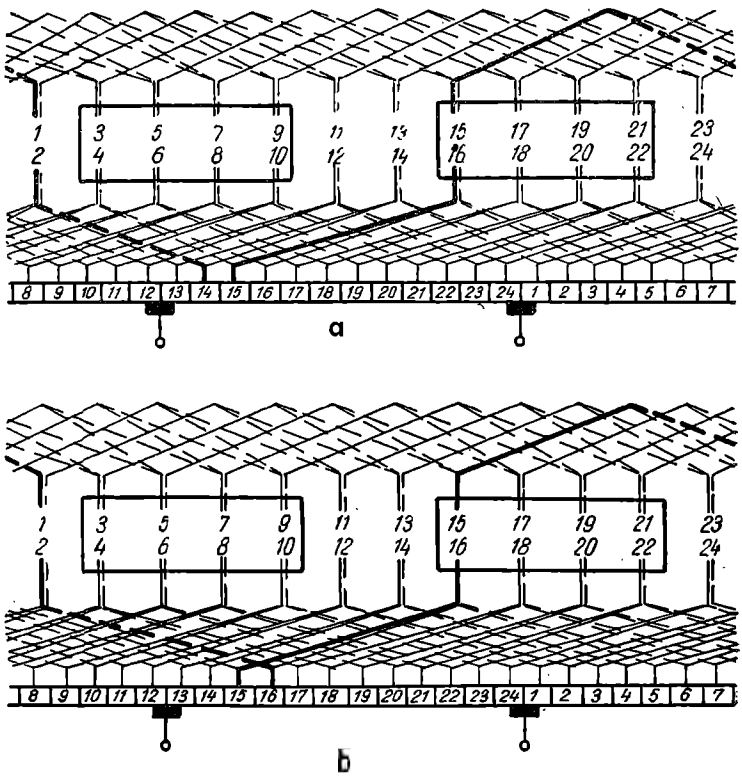


Fig. 4.23. Înfășurare buclată simplă bipolară : $Z=12$, $u=2$, $K=24$: *a* — înfășurare cu bobine egale ($y_1=12$); *b* — înfășurare cu bobine în trepte ($y_1=11$).

La înfășurările în trepte, y_1/u este un număr fracționar ; media deschiderilor celor u bobine, măsurată în crestături, este egală cu raportul y_1/u (de exemplu la înfășurarea 4.22 *c*, deschiderile bobinelor

sînt egale cu 17 și respectiv 18 crestături, iar media lor este egală cu $y_1/u = 17^1/_2$; la înfășurarea 4.24, deschiderile bobinelor sînt egale cu 3,3 și 4 crestături, iar media lor este $y_1/u = 10/3 = 3^1/_3$.

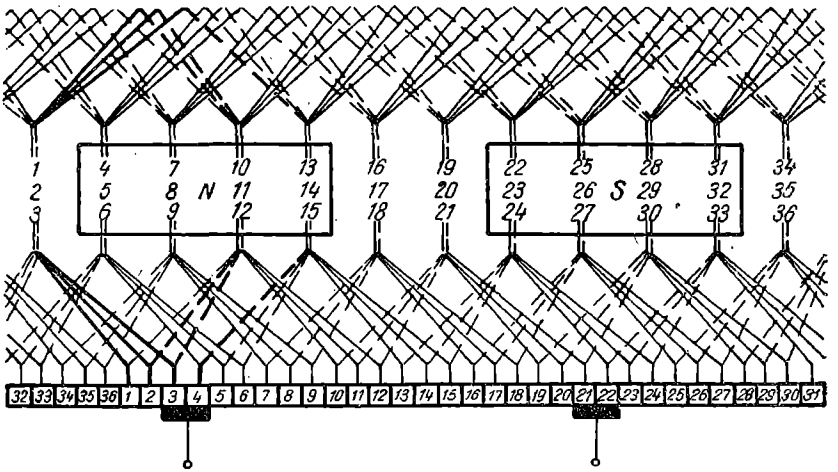


Fig. 4.24. Înfășurare buclată simplă în trepte : $Z=12$, $K=36$, $p=2$, $u=3$, $y_1=10$.

b. *Înfășurările buclate multiple*

Înfășurările buclate la care pasul rezultant y diferă de 1 se numesc înfășurări buclate multiple ; de exemplu înfășurarea avînd $y=2$ se numește înfășurarea buclată dublă. La aceste înfășurări numărul căilor de curent se mărește de m ori față de numărul căilor de curent de la înfășurările buclate simple. Deci, numărul perechilor de căi de curent este $a=mp$.

Între pașii parțiali există deci relația

$$y_1 - y_2 = m, \tag{4.7}$$

m fiind denumit ordin de multiplicitate și de obicei are valoarea 2.

Înfășurările buclate multiple se pot executa pentru oricare număr uzual de lamele de colector și pot fi formate din 1, 2, . . . , m înfășurări distincte.

Astfel, se poate obține o înfășurare buclată dublă executînd o înfășurare compusă din două înfășurări buclate simple distincte, așezate în aceleași crestături. Ca să fie posibilă o asemenea execuție, numărul de lamele de colector trebuie să fie cu soț.

Să reprezentăm o înfășurare buclată multiplă ($m=2$) tetrapolară ($2p=4$) avînd $Z=20$, $K=20$; în acest caz, pasul rezultant este $y=m=2$. Pasul la spate este

$$y_1=\frac{K}{2p}=\frac{20}{4}=5,$$

iar pasul în față

$$y_2=y_1-y=5-2=3.$$

În fig. 4.25, *a* este reprezentată schema desfășurată a acestei înfășurări.

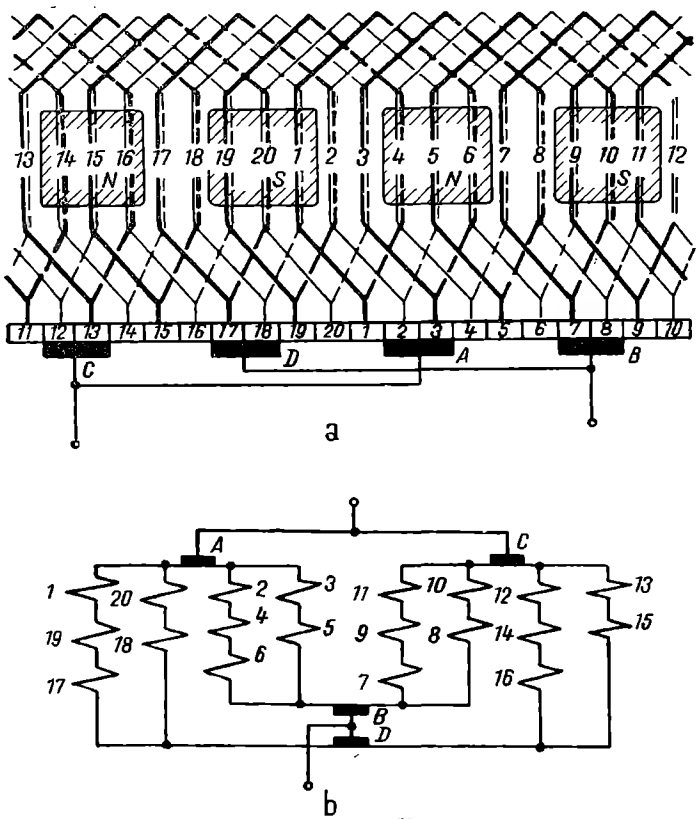


Fig. 4.25. Înfășurare buclată multiplă ($m=2$) tetrapolară ($p=2$): $Z=20$, $u=1$, $y_1=5$, $y_2=3$ (închisă de două ori):

a — schema desfășurată; *b* — schema secțiilor.

Pornind de la lamela *1*, după ce urcăm prin crestătura *1* și coborîm prin crestătura $1+y_1=1+5=6$, capătul de sfîrșit al bobinei *1—6* este conectat la lamelele $1+m=1+2=3$ și așa mai departe. În acest caz, înfășurarea se compune din două înfășurări distincte. Prima înfășurare ocupă straturile superioare din crestăturile impare (*1, 3, 5, 7, . . .*) și straturile inferioare din crestăturile pare (*2, 4, 6, 8, . . .*), iar cealaltă înfășurare ocupă spațiul rămas. Numărul căilor de curent este $2a=2mp=2\times2\times2=8$, așa după cum rezultă din fig. 4.25, *b*, desenată pentru momentul în care nici o bobină nu comută. Pentru ca ambele înfășurări să fie în orice moment parcurse de curent, peria trebuie să aibă o lățime de cel puțin două lamele.

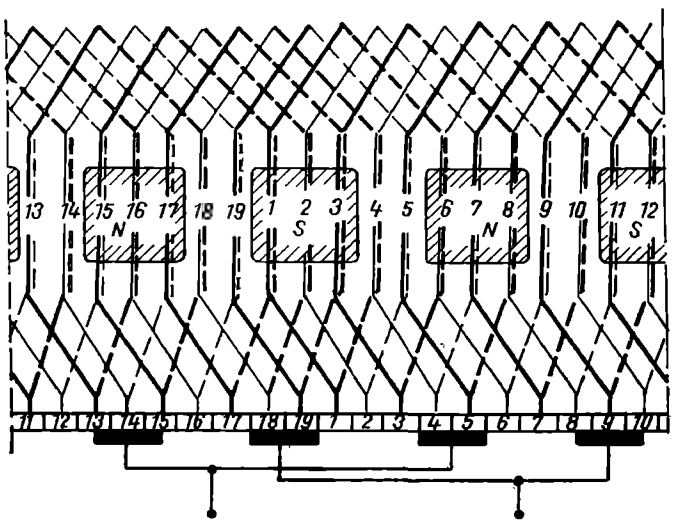


Fig. 4.26. Înfășurare buclată dublă ($m=2$) tetrapolară ($p=2$): $Z=19$, $u=1$, $y_1=5$, $y_2=3$.

Înfășurările buclate duble care au un număr impar de lamele la colector se închid o singură dată, după ce s-a parcurs periferia rotorului de două ori.

De exemplu, înfășurarea din fig. 4.26, avînd $Z=19$ crestături, $K=19$ lamele, $m=2$, se închide o singură dată (fiind formată dintr-o singură înfășurare distinctă).

4.3.2. Înfășurările ondulate

Înfășurările ondulate se pot executa numai pentru anumite numere de lamele la colector K. După cum s-a arătat în § 4.2.3., pt. b, pasul rezultant y la aceste înfășurări este egal cu suma pașilor parțiali y_1 și y_2 [relația (4.3)]

$$y = y_1 + y_2.$$

Înfășurările ondulate normale se pot executa cu una sau mai multe bobine pe crestătură. Și la aceste înfășurări numărul de lamele K la colector este egal cu produsul dintre numărul de crestături Z și numărul de bobine u pe crestătură $K = Zu$.

Pentru a rezulta o înfășurare simetrică, cu același număr de bobine pe perechea de căi de curent, trebuie ca numărul de perechi de poli și numărul de lamele la colector să se împartă la numărul de perechi de căi de curent; prin urmare $\frac{p}{a}$ și $\frac{K}{a}$ să fie numere întregi.

În cazul în care numărul de crestături se împarte la numărul de poli, bobinele se pot executa cu deschidere diametrală (adică egală cu pasul polar).

a. *Înfășurările ondulate simple*

La aceste înfășurări, după primul parcurs al periferiei rotorului, deci după ce se parcurg p bobine, trebuie să se ajungă cu o lamelă de colector în urma lamelei de la care s-a pornit, pentru a rezulta o înfășurare neîncrucișată. Astfel, dacă $y = y_1 + y_2$ este pasul rezultant al înfășurării, iar mașina are p perechi de poli, la efectuarea unui parcurs se ajunge la lamela $py + 1$ dacă s-a pornit de la lamela *1*. Pentru ca înfășurarea să nu se închidă de prima dată și să rezulte o înfășurare neîncrucișată este necesar ca lamela $py + 1$ să fie situată cu o lamelă în urma lamelei *1*, de la care s-a pornit, adică să se ajungă la lamela K. Deci se poate scrie relația

$$py + 1 = K, \tag{4.8}$$

din care se determină pasul rezultant

$$y = \frac{K - 1}{p}, \tag{4.9}$$

iar aceasta trebuie să fie un număr întreg. O înfășurare ondulată simplă ($m=1$) tetrapolară nu se poate executa ca înfășurare simetrică pentru $K=20$, fiindcă în acest caz $y=\frac{20-1}{2}$ nu este un număr întreg; în schimb, pentru $K=19$ se poate executa și rezultă $y=\frac{19-1}{2}=9$. În cazul particular cînd mașina este bipolară ($p=1$), înfășurarea ondulată se poate executa pentru orice număr K. Cînd mașina este tetrapolară ($p=2$), înfășurarea ondulată simplă se poate executa pentru orice număr K impar (fără soț), adică pentru numerele de crestături *17, 19, 21, 23* etc.

În general, numărul de crestături pentru care se poate executa înfășurarea se calculează din relația

$$Z=\frac{yp+1}{u}\,. \tag{4.10}$$

Înfășurările ondulate simple se închid o singură dată.

Numărul perechilor căilor de curent este egal cu *1*, indiferent de numărul de poli ai mașinii; pe colector se pot așeza fie numai două tije portperii, fie $2p$ tije portperii.

La înfășurările ondulate, bobinele se execută identic cu bobinele de la înfășurarea buclată, cu excepția capetelor de bobine care se pregătesc spre a fi conectate la lamele decalate între ele la colector cu aproximativ dublul pasului polar, adică cu $\frac{K-1}{p}$ lamele.

Înfășurarea ondulată simplă cu o bobină pe crestătură. Să considerăm o înfășurare ondulată simplă ($m=1$) tetrapolară ($p=2$), avînd $Z=K=29$ (adică $u=1$ bobină pe crestătură); în acest caz, numerotarea crestăturilor coincide cu numerotarea lamelelor, respectiv a crestăturilor elementare.

Pasul rezultant este

$$y=\frac{K-1}{p}=\frac{29-1}{2}=14.$$

Pașii y_1 și y_2 se iau cît mai aproape de pasul polar; pasul y_1 se ia mai mic sau cel mult egal cu pasul polar $\frac{K}{2p}$, pentru a se realiza o înfășurare economică. În cazul exemplului de față se alege

$$y_1=\frac{K}{2p}-\varepsilon=\frac{29}{4}-\frac{1}{4}=7 \text{ lamele}$$

(s-a considerat că scurtarea bobinei față de pasul polar este $\varepsilon = 1/4$). Pasul în față este atunci

$$y_2 = y - y_1 = 14 - 7 = 7.$$

În fig. 4.27 este reprezentată schema desfășurată a acestei înfășurări. Înfășurarea se închide o singură dată, după ce s-au parcurs toate crestăturile. În schema desfășurată nu se reprezintă spirele, ci numai laturile de bobină și conexiunile frontale dintre acestea.

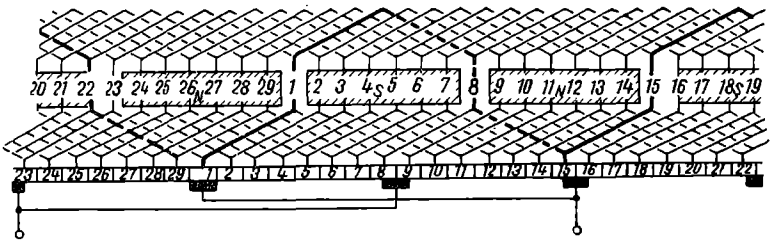


Fig. 4.27. Înfășurare ondulată simplă tetrapolară : $Z=29$, $u=1$, $y_1=7$, $y_2=7$.

Pe colector se pot așeza 2 sau $2p=4$ perii. În figură se indică și poziția periilor pe colector, considerîndu-se cazul cînd se echipează mașina cu patru perii.

Înfășurarea ondulată simplă cu mai multe bobine pe crestătură. Să considerăm o înfășurare ondulată simplă tetrapolară avînd același număr $Z=29$ crestături, dar $u=3$ (adică $K=Zu=29\cdot 3=87$ lamele).

Pasul rezultant este

$$y = \frac{K-1}{p} = \frac{87-1}{2} = 43.$$

La înfășurările cu bobine egale, pasul la spate y_1 trebuie să fie divizibil prin u ; în orice caz, pasul la spate trebuie să fie mai mic sau cel mult egal cu pasul polar ; pentru înfășurarea examinată pasul polar, exprimat în lamele de colector este $87/4=21\frac{3}{4}$. Dacă alegem $y_1=21$ și $y_2=y-y_1=43-21=22$, obținem bobine identice și primul parcurs ocupă următoarele crestături elementare

stratul superior	1	44	87
	| ⁄ | ⁄ |		
stratul inferior	22	65	21

În fig. 4,28 este reprezentată schema desfășurată a acestei înfășurări.

În schimb, dacă alegem $y_1=22$ și $y_2=21$, obținem schema unei înfășurări *ondulate simple în trepte*, așa după cum rezultă din tabloul de mai jos al primului parcurs :

stratul superior	1	44	87,
	| ⁄	| ⁄	|
stratul inferior	23	66	22, ... ,

adică bobinele *1-23* și *44-66* au deschiderea egală cu șapte pași de crestătură reală (geometrică), iar bobina *87-22* are deschiderea egală cu 8 crestături reale. Înfășurarea ar rezulta în trepte și ar avea în acest caz o treime din bobine cu pasul ceva mai mare decît pasul polar, ceea ce evident necesită mai mult cupru ; celelalte două treimi ar avea aceeași deschidere ca bobinele de la înfășurarea anterioară.

S-ar putea realiza înfășurarea tot în două trepte, alegînd de exemplu $y_1=20$ și $y_2=23$; în acest caz, o treime din numărul de bobine ar fi cu pasul mai scurt decît pasul polar, iar celelalte bobine ar avea deschiderea corespunzătoare la șapte crestături reale.

În fig. 4.29 este reprezentată o înfășurare ondulată simplă, în trepte, avînd $Z=12$ crestături, $u=2$, $K=2\cdot 12=24$ și anume în fig. 4,29, *a*

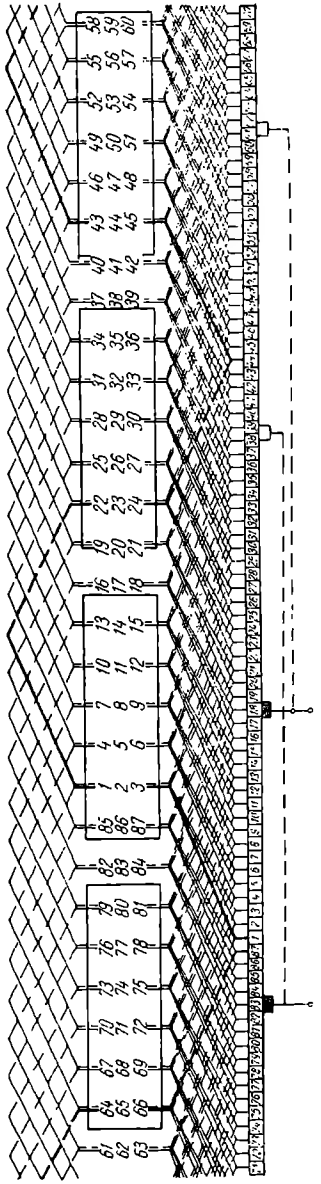


Fig. 4.28. Înfășurare ondulată simplă tetrapolară ($p=2$) pentru $Z=29$ și $u=3$, $y_1=21$, $y_2=22$.

pentru pașii $y_1=11$, $y_2=12$ (deci $y=23$), obținîndu-se astfel o înfășurare cu legăturile neîncrucișate, iar în fig. 4.29, *b* pentru pașii $y_1=11$, $y_2=14$, $y=25$, rezultînd o înfășurare încrucișată.

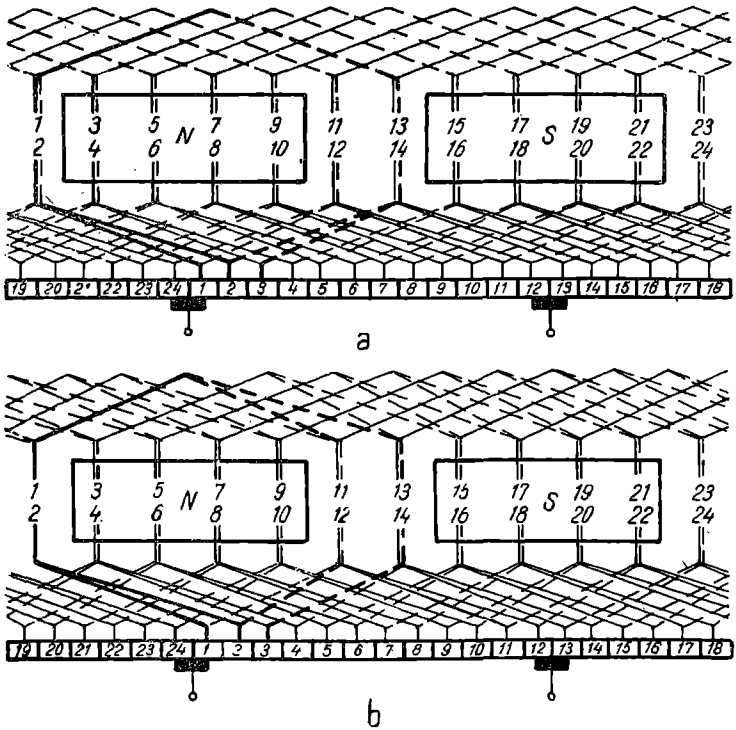


Fig. 4.29. Înfășurare ondulată simplă în trepte, bipolară : $Z=12$, $K=24$, $u=2$:
a — neîncrucișată, cu $y_1=11$ și $y_2=12$; *b* — încrucișată, cu $y_1=11$ și $y_2=14$.

b. *Înfășurările ondulate multiple*

Acest tip de înfășurări se pot executa numai pentru anumite numere de crestături. Pentru a realiza o înfășurare ondulată multiplă de ordinul *m*, după ce s-a parcurs o dată periferia rotorului trebuie să se ajungă cu *m* lamele în urma lamelei de la care s-a început înfășurarea. De exemplu, dacă se pornește de la lamela *m*, după ce s-a parcurs o dată periferia rotorului și s-au efectuat *p* pași rezultanți,

adică s-a ajuns la lamela $py+m$, aceasta trebuie să coincidă cu lamela K, adică

$$py \pm m = K. \tag{4.11}$$

Deci, pasul rezultat y este

$$y = \frac{K \mp m}{p}, \tag{4.12}$$

unde semnul minus (—) corespunde înfășurărilor ondulate multiple neîncrucișate, iar semnul plus (+) corespunde înfășurărilor ondulate multiple încrucișate.

Pentru ca pasul rezultant y calculat în baza relației (4.12) să fie un număr întreg, numărul de crestături Z și numărul de lamele K nu poate avea o valoare oarecare dacă numărul p de perechi de poli este mai mare decît 1. De exemplu, pentru numărul $p=2$ și $m=2$, K trebuie să fie un număr par ; pentru $p=2$ și $m=3$, K trebuie să fie un număr impar ; pentru $p=3$ și $m=2$, $K=14$, 17, 20, 23, 26 și așa mai departe.

Înfășurările ondulate multiple se pot închide o dată sau de mai multe ori pînă la de m ori, după cum y nu se împarte sau se împarte exact cu m, respectiv după cum numărul la care se împarte exact atît y_1 cît și m este egal cu 1 sau este mai mare decît 1. Cele care se închid de mai multe ori se pot considera ca fiind compuse din înfășurările ondulate simple identice așezate în aceleași crestături.

După cum se va vedea din exemplele care urmează, numărul căilor de curent la aceste înfășurări este egal cu numărul polilor ($a=p$).

Înfășurările *ondulate multiple* se mai numesc și *înfășurări serie paralel*.

Pentru a stabili în prealabil de cîte ori se închide înfășurarea, observăm că după fiecare parcurs se ajunge cu m lamele în urma lamelei de început a parcursului (în cazul înfășurărilor neîncrucișate). Dacă y se împarte la m, atunci după y/m parcursuri înfășurarea se închide și s-au inclus în înfășurare numai $\frac{py}{m}+1$ bobine, adică $\frac{py+m}{m} = \frac{K}{m}$ bobine ; înfășurarea se va închide deci de m ori, rezultînd astfel de fapt m înfășurări distincte.

Ca exemplu să considerăm mai întîi o înfășurare ondulată dublă ($m=2$) tetrapolară ($p=2$), avînd $Z=28$ și $u=1$. Numărul de lamele la

colector este $K=Zu=28$. Pasul rezultant calculat din relaţia (4.12) este

$$y=\frac{28-2}{2}=13.$$

Pasul la spate se ia aproximativ egal cu pasul polar, adică

$$y_1=\frac{Z}{2p}=\frac{28}{4}=7.$$

În acest caz, din relaţia (4.3) rezultă pasul în faţă

$$y_2=y-y_1=13-7=6.$$

Deoarece $y=13$ nu se împarte exact prin $m=2$, înfăşurarea se va închide o singură dată. În fig. 4.30 este reprezentată această înfăşurare.

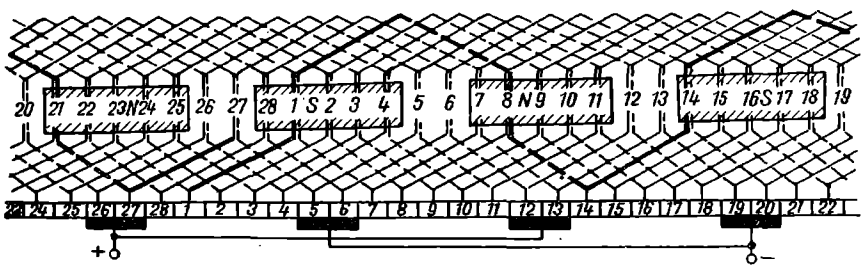


Fig. 4.30. Înfăşurare ondulată multiplă (serie paralel), închisă o dată : $Z=28$, $u=1$, $p=2$, $y_1=7$, $y_2=6$.

Să considerăm o înfăşurare ondulată dublă ($m=2$) tetrapolară, având $Z=29$ şi $u=2$ bobine pe crestătură. Numărul de lamele la colector este $K=Zu=29\times2=58$. Pasul rezultant este

$$y=\frac{K-m}{p}=\frac{58-2}{2}=28.$$

În cazul de faţă înfăşurarea se închide de $m=2$ ori, deoarece $y=28$ se împarte exact la $m=2$.

Paşii parţiali y_1 şi y_2 se deduc astfel : $y_1=\frac{58}{4}=14{,}5$; alegem $y_1=14$ pentru a obţine toate secţiile de aceeaşi deschidere ; rezultă apoi $y_2=y-y_1=28-14=14$ crestături elementare.

În fig. 4.31 este reprezentată schema desfăşurată a acestei înfăşurări. Una din înfăşurări se compune din bobinele care poartă nume-

rele impare, iar a doua înfășurare din bobinele notate cu numere pare. De fapt, fiecare din cele două înfășurări este similară cu înfășurarea din fig. 4.27.

c. *Înfășurări ondulate cu bobine oarbe și înfășurări închise artificial*

Deseori, cînd se dispune de un rotor cu un număr de crestături dat sau cînd la proiectare o altă variantă ne îndepărtează prea mult de soluția optimă și numărul de crestături nu este potrivit pentru a executa o înfășurare ondulată (normală), se separă din înfășurare o bobină, care se izolează de rest; această bobină este denumită bobină oarbă.

Să examinăm un asemenea caz de *înfășurare ondulată simplă tetrapolară cu o bobină oarbă* pentru $Z=35$ crestături și $K=139$ lamele la colector.

Numărul de bobine pe crestătură este $u=\frac{K}{Z}=\frac{139}{35}\approx 4$; de fapt, $Zu=35\cdot 4=140$. Aceasta înseamnă că o bobină dintr-o crestătură nu este înseriată în schemă. De altfel, cu numărul $Zu=140$ nu se poate executa o înfășurare ondulată simplă obișnuită, din cauză că pasul rezultant $y=\frac{Zu-1}{p}=\frac{140-1}{2}=69^1/_2$ nu este un număr întreg.

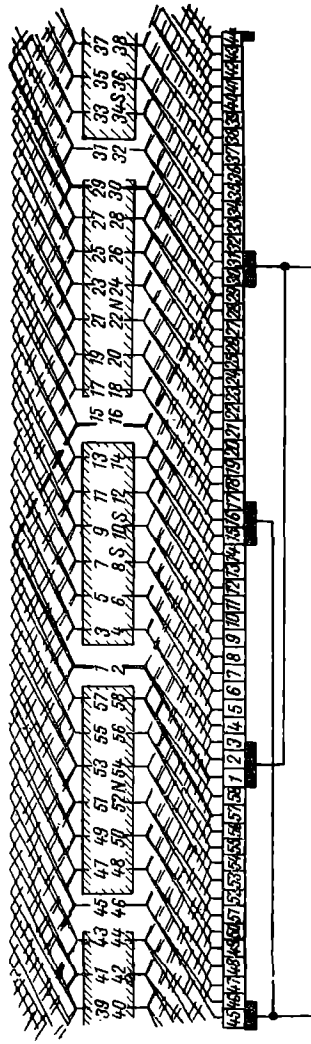


Fig. 4.31. Înfășurare ondulată multiplă (serie paralel), închisă de două ori: $Z=29$, $u=2$, $p=2$, $y_1=14$, $y_2=14$.

Dacă lăsăm la o parte o bobină, pasul rezultant devine $y=\frac{K-1}{p}=\frac{139-1}{2}=69$ lamele, iar pasul polar este $\frac{Zu}{2p}=\frac{140}{4}=35$ lamele; pentru a executa o înfășurare cu bobine de deschideri egale, alegem $y_1=36$; în acest caz, pasul în față rezultă $y_2=y-y_1=69-36=33$ lamele.

Pentru a obține bobine identice, trebuie să se treacă peste bobina care se lasă afară din circuit, prin alungirea pasului în față și nu a pasului la spate ; în rest, oricare din bobinele înfășurării poate să fie aleasă drept bobina oarbă.

În fig. 4.32 este reprezentată parțial schema frontală a înfășurării. Pornind de exemplu de la lamela *1*, se parcurge bobina *1—37*, latura

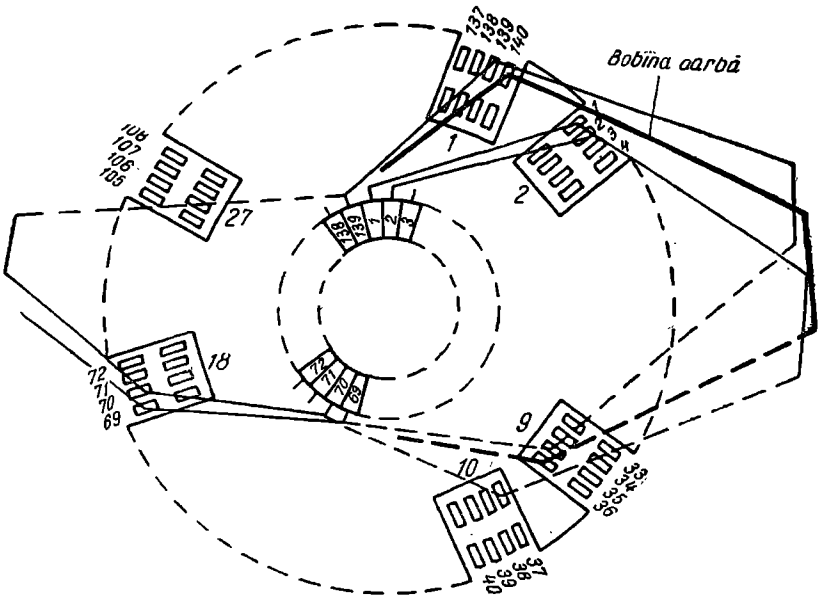


Fig. 4.32. Schema frontală a înfășurării ondulate simple tetrapolare, cu bobină oarbă : Z=35, K=139, u=4, utilizată la un generator de curent continuu de 10 kW.

de întoarcere *37* se conectează la lamela $1+69=70$; se parcurge apoi bobina *70—105*, iar latura de întoarcere se leagă la lamela $70+69=139$, adică cu o lamelă în urma lamelei *1* de la care s-a pornit. Bobina care se lasă în afara înfășurării este bobina *140—36*.

Pentru a nu rezulta un rotor dezechilibrat dinamic, bobina oarbă se introduce în crestături și capetele ei fie că se izolează de restul înfășurării, fie că se conectează în paralel cu capetele uneia din bobinele vecine, de exemplu cu ale bobinei *139—36*.

De cele mai multe ori, bobina lăsată afară inițial se inseriază corespunzător în schema de înfășurare. În acest caz însă, numărul lamelelor trebuie să fie egal cu numărul bobinelor, iar *înfășurarea este închisă artificial*.

Să considerăm o *înfășurare ondulată simplă închisă artificial*, avînd $Z=20$, $p=2$. Numărul lamelelor la colector, pentru $u=1$, este $K=20$. Dar pentru acest număr nu se poate executa o înfășurare ondulată simplă, simetrică. Să presupunem că mașina ar avea $Z'=K'=19$. Pasul înfășurării ondulate simple neîncrucișate este în acest caz

$$y=\frac{K'-m}{p}=\frac{19-1}{2}=9;$$

dacă pasul la spate este

$$y_1=\frac{Z}{2p}=\frac{20}{4}=5,$$

pasul în față rezultă

$$y_2=y-y_1=9-5=4.$$

Cînd se execută schema trebuie avut grijă ca toate bobinele să aibă aceeași deschidere, iar o bobină să fie lăsată afară ; să presupunem că s-a lăsat la o parte bobina *10—15* și lamela notată cu cifra *9*, cuprinsă între lamelele *19* și *20* (fig. 4.33). După ce s-a executat schema

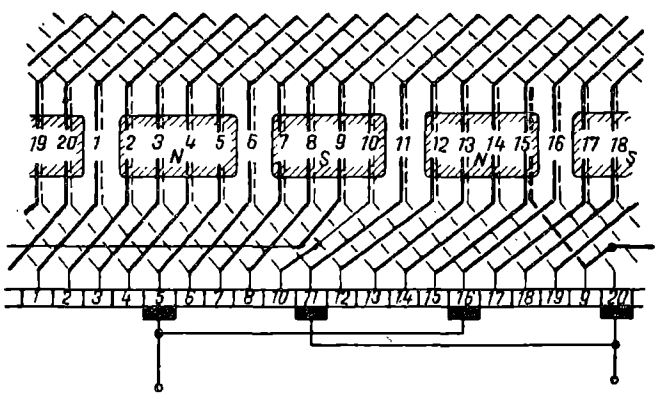
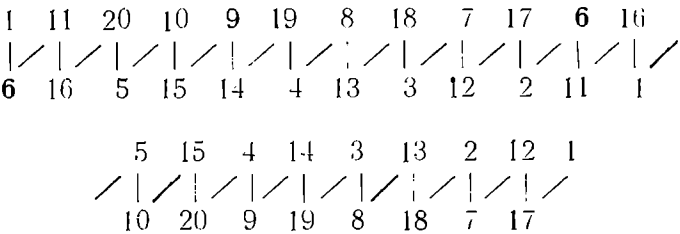


Fig. 4.33. Înfășurare ondulată simplă închisă artificial : $Z=20$, $K=20$, $p=2$.

pentru înfășurarea ondulată avînd $Z'=19$ crestături, se introduce și bobina lăsată la o parte (desfacem legătura conductorului de ducere al bobinei *9—14* de la lamela *10* și executăm legătura cu racordul la lamela *9*).

Practic tabelul legăturilor este următorul (sus stratul superior, jos stratul inferior) :



Obținem astfel o înfășurare specială nesimetrică, însă fără a avea crestături goale sau lamele neutilizate, fapt care ar fi condus la deranjamente în funcționarea mașinii.

4.3.3. Conexiuni echipotențiale

a. *Rolul și tipurile de conexiuni echipotențiale*

Conexiunile echipotențiale sînt legături conductoare între anumite puncte ale înfășurării indusului care ar trebui să aibă același potențial la o funcționare normală a mașinii. Aceste legături se pot face chiar între anumite lamele de colector.

Conexiunile echipotențiale au ca scop ameliorarea comutației. Pentru a înțelege mai bine rolul acestor conexiuni să considerăm o mașină de curent continuu tetrapolară și să presupunem că, în urma uzurii lagărului, întrefierul este mai mic sub o pereche de poli — sub perechea de jos — și mai mare sub cealaltă pereche (fig. 4.34, *a*) — sub perechea de sus. Să presupunem de asemenea că indusul are înfășurarea buclată ; în acest caz, sub fiecare pol se află cîte o cale de curent, numărul de căi de curent fiind în total $2a=4$. Practic în căile de curent dintre periile *1—2* și *3—2* se induc tensiuni egale ; de asemenea și tensiunile induse între periile *1—4* și *3—4* sînt egale între ele ; dar tensiunile *1—2* și *1—4* sînt diferite între ele, din cauză că bobinele acestor căi de curent se află în cîmpuri magnetice diferite. Cum periile de aceeași polaritate sînt legate împreună și cum tensiunea între periile *1—4* este mai mare decît tensiunea între periile *1—2*, va apare un curent de circulație în circuitul *1—2—4—1*. În fig. 4.34, *a* s-a presupus că sub polul de sus cîmpul magnetic este mai slab și se induce pe calea de curent o tensiune de 80 V, iar sub polul de jos se induce tensiunea de 120 V. Schema simplificată a circuitului înfășurării este dată în fig. 4.34, *b*. Dacă periile *1* și *3*, respectiv *2*

și *4*, nu ar fi legate împreună, atunci în circuitul *1—2—3—4—1* nu ar apărea nici un curent, tensiunea rezultantă fiind nulă. Însă periile *2—4* sînt legate împreună ; în circuitul *1—2—4*, respectiv în circuitul *3—4—2*, se induce tensiunea rezultantă de 40 V, care produce un

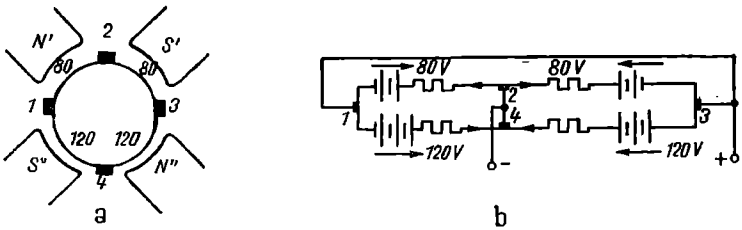


Fig. 4.34. Mașină de curent continuu cu întrefier neuniform :
a — schema mașinii; *b* — circuitul echivalent al înfășurării indusului.

curent de circulație important, deoarece rezistența circuitului este foarte mică ; curentul de circulație trece prin perii ; se înrăutățește comutația și se încălzește suplimentar mașina.

Pentru a se evita închiderea curenților de circulație prin perii, se leagă între ele punctele înfășurării care ocupă poziții identice sub polii de același nume, adică punctele care au același potențial la funcționarea normală a mașinii; aceste legături sînt denumite conexiuni echipotențiale și se efectuează de aceeași parte cu colectorul sau de partea opusă a acestuia.

Deoarece înfășurarea ondulată simplă are numai două căi de curent, iar bobinele ocupă poziții identice sub poli, tensiunile induse pe oricare din cele două căi sînt aceleași, chiar cînd mașina este nesimetrică ; de aceea, la acest tip de înfășurare nu sînt necesare conexiunile echipotențiale.

Se folosesc două tipuri principale de conexiuni echipotențiale : de speța I (denumite și de ordinul I), care se execută la înfășurările buclate simple pentru mai multe perechi de poli, și de speța a II-a (de ordinul al II-lea), care se execută la înfășurările buclate multiple și cele ondulate multiple.

b. *Numărul și secțiunea conexiunilor echipotențiale*

În urma rezultatelor practice s-a constatat că este suficient să se execute conexiuni echipotențiale aproximativ din trei în trei lamele sau din două în două lamele. În fig. 4.35, *a* este reprezentată schema desfășurată a unei înfășurări buclate simple hexapolare ($2p=6$), avînd

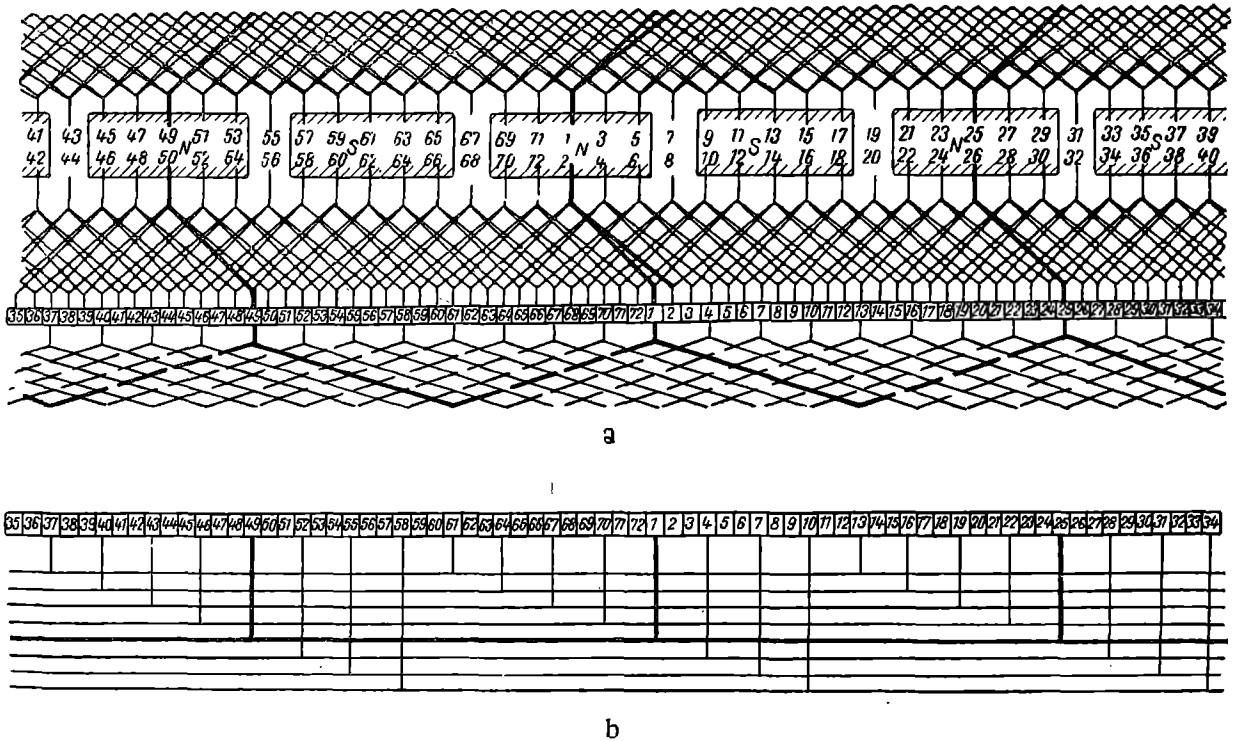


Fig. 4.35. Conexiuni echipotențiale de speța *I*, la o înfășurare buclată, simplă, hexapolară ; $Z=36$, $u=2$;
a — conexiuni în formă de capete de bobină; *b* — conexiuni în formă de inele.

$Z=36$, $u=2$. Numărul de lamele la colector este $K=uZ=2\times36=72$, iar pașii înfășurării sînt : $y_1=\frac{K}{2p}=\frac{72}{6}=12$, $y=1$ și $y_2=y_1-y=12-1=11$.

Pasul conexiunilor echipotențiale y_c este egal cu dublul pasului polar $y_c=\frac{K}{p}=\frac{72}{3}=24$; deci lamela *1* trebuie conectată cu lamelele *25* și *49*, lamela *4* cu *28* și *52* și așa mai departe.

Conexiunile echipotențiale se pot executa sub forma unor capete de bobine în două straturi, ca în fig. 4.35, *a* și 4.36, *b*, c și *d*. Se pot executa conexiunile echipotențiale și prin inele (fig. 4.35, *b* și 4.36, *a*) ; în acest caz, dacă conexiunile se execută din 3 în 3 lamele, numărul de inele este $y_c/3=24/3=8$ inele.

Conexiunile echipotențiale nu se pot executa întotdeauna de aceeași parte a indusului (fie pe partea dinspre colector, fie pe cea opusă colectorului) ; la cele de speța a II-a este necesar uneori să se execute legături între puncte echipotențiale situate pe ambele părți, din care cauză conductoarele de legătură sînt trecute prin interiorul rotorului între miez și arbore (și anume prin canalele axiale de ventilație).

Legăturile conexiunilor echipotențiale se așază în mod obișnuit sub capetele de bobină ale înfășurării indusului (fig. 4.36, *a*, *c*, *d*) ; așezarea legăturilor echipotențiale pe partea colectorului (fig. 4.36, c)

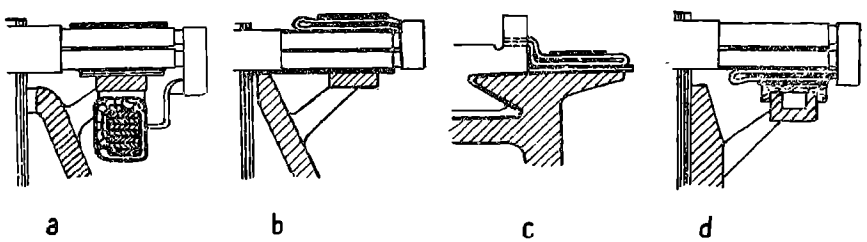


Fig. 4.36. Poziția conexiunilor echipotențiale :
a — conexiuni circulare; *b*, *c* și *d* — conexiuni transversale.

este mai simplă din punct de vedere tehnologic, în schimb, pentru eliminarea unui defect care poate surveni la conexiunile echipotențiale, este necesar ca în prealabil să se desfacă legăturile la colector.

Secțiunea conductorului cu care se execută legăturile este cuprinsă între $^1/_4$ și $^1/_2$ din secțiunea conductorului înfășurării indusului, în funcție de puterea mașinii, de rezultatele experimentale obținute și de numărul conexiunilor realizate pe perechea de poli. Dacă se exe-

cută conexiuni echipotențiale din 2 în 2 lamele, secțiunea conductorului de legătură poate fi mai mică decît în cazul cînd legăturile se execută din 3 în 3 lamele.

4.3.4. Înfășurări combinate

a. *Tipuri de înfășurări combinate*

Înfășurarea combinată, cunoscută în literatură și sub numele de înfășurare *tip broască*, se compune din două înfășurări, dintre care una ondulată multiplă de ordinul $m=p=a$, iar alta buclată simplă (la care $a=p$) ; cele două înfășurări sînt conectate la același colector și sînt situate în aceleași crestături. La acest tip de înfășurare nu mai sînt necesare conexiunile echipotențiale. Aceste înfășurări se execută de obicei în patru straturi. La fiecare lamelă de colector se leagă patru conductoare : două aparțin înfășurării ondulate, iar două celei buclate.

Pentru ca înfășurarea să se poată executa este necesar ca pasul rezultant al înfășurării ondulate neîncrucișate $y_o = \frac{K-m}{p}$ să fie un număr întreg. Deoarece înfășurarea ondulată este multiplă de ordinul p, se obține $y_o = \frac{K}{p} - 1 =$ număr întreg, adică numărul de lamele trebuie să se împartă exact la numărul de perechi de poli.

Așa cum se arată și în fig. 4.37, pașii la spate ai celor două înfășurări trebuie să fie egali. Pasul rezultant al *înfășurării ondulate ne-*

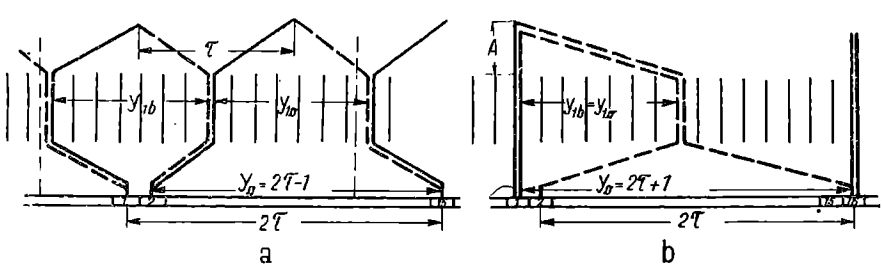


Fig. 4.37. Bobine ale înfășurărilor combinate :
a — tip Latour; *b* — tip BBC.

încrucișate (fig. 4.37, *a*) este mai mic decît dublul pasului polar ; înfășurarea obținută este denumită *înfășurare tip Latour*. În cazul *înșurării ondulate încrucișate* (fig. 4.37, *b*), pasul rezultant este mai mare decît dublul pasului polar, iar înfășurarea combinată obținută este denumită *înfășurare tip BBC*.

Exemplu. În fig. 4.38, pentru claritate s-au reprezentat prin culori diferite schemele desfășurate ale unei înfășurări combinate tetrapolare avînd $Z=28$ crestături, $u=1$; pasul rezultant al înfășurării ondulate neîncrucișate este $y_o=\frac{Z-m}{p}=\frac{28-2}{2}=13$; pasul la spate al înfășurării buclate este $y_{1b}=\frac{K}{2p}=$ $=\frac{28}{4}=7$. Alegem deci și pasul la spate al înfășurării ondulate multiple de ordi-

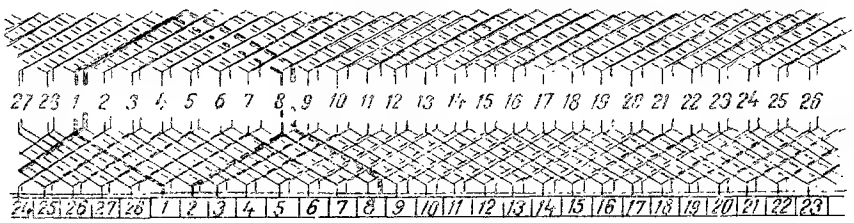
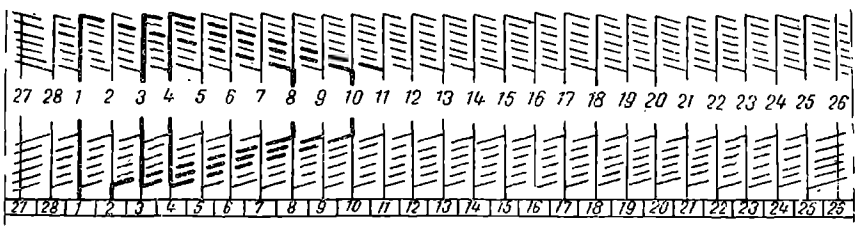
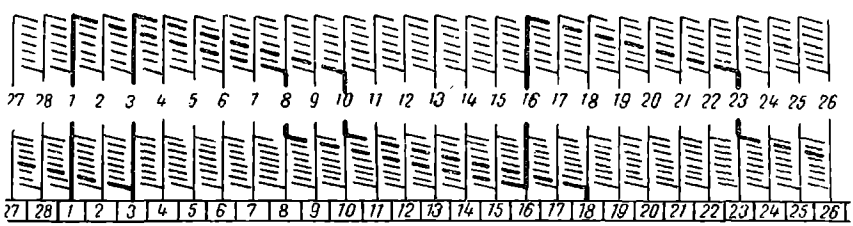


Fig. 4.38. Înfășurare combinată tetrapolară (colectorul comun) tip Latour, $Z=28$ (cu culoare roșie este reprezentată înfășurarea ondulată).

nul al II-lea, $y_{1o}=y_{1b}=7$. Deducem mai departe pașii înfășurării ondulate $y_{2o}=y_o-y_{1o}=13-7=6$ și cei ai înfășurării buclate simple ($y_b=1$), $y_{2b}=y_{1b}-$ $-y_b=7-1=6$.



a



b

Fig. 4.39. Înfășurare combinată tetrapolară (colectorul comun), tip BBC, $Z=28$: *a* — înfășurarea buclată; *b* — înfășurarea ondulată.

Remarcăm că putem alege pasul la spate al înfășurării buclate $y_{1b}=6$; în acest caz pasul y_{1o} al înfășurării ondulate poate fi de asemenea 6 sau 8; însă bobinele celor două înfășurări trebuie să fie așezate simetric față de axa polului pe care îl îmbrățișează; pașii 6 și 8 sînt echivalenți în acest caz.

Exemplu. În fig. 4.39, *a* și *b*, pentru mai multă claritate s-au reprezentat separat schemele desfășurate ale unei înfășurări combinate tetrapolare avînd în principal aceleași caracteristici [$Z=28$ crestături și $u=1$] ca înfășurarea precedentă; înfășurarea buclată are pașii $y_{1b}=7$, $y_{2b}=6$, $y_b=1$; înfășurarea ondulată este încrucișată și are pașii $y_o=\frac{Z+m}{p}=\frac{28+2}{2}=15$, $y_{1o}=y_{1b}=7$, iar $y_{2o}=y_o-y_{1o}=15-7=8$.

Spre deosebire de tipul de înfășurare din exemplul precedent, schema adoptată în acest caz este întrucîtva mai ușor de executat, deoarece bobinele celor două înfășurări fiind așezate în aceleași crestături, capetele laturilor de ducere se leagă la aceeași lamelă de colector, iar capetele laturilor de întoarcere, la lamele distanțate între ele cu dublul pasului, adică cu $\frac{K}{p}$ lamele. Consumul de material conductor este însă ceva mai mare la acest tip de înfășurare, din cauza alungirii capetelor de bobine în urma încrucișării și datorită formei speciale a capetelor de bobine; capetele de bobină ale ambelor înfășurări sînt mai lungi decît cele ale înfășurării precedente (tip Latour) cu lungimea cu care acestea ies din crestătură (lungimea A din fig. 4.37, *b*). Consumul suplimentar de material este neînsemnat la înfășurările cu spire multe pe bobină, însă devine important la înfășurările executate din bare, în special la acelea care au de exemplu patru bare pe crestătură.

b. *Particularitățile constructive ale înfășurărilor combinate*

Numărul căilor de curent ale celor două înfășurări din care se compune înfășurarea combinată trebuie să fie același; numărul de căi de curent ale înfășurării buclate fiind în general $2m_b p$ (m_b este ordinul de multiplicitate al înfășurării buclate), înfășurarea ondulată trebuie să aibă $2m_o=2m_b p$ căi de curent, adică trebuie să fie multiplă de ordinul $m_o=m_b p$ (m_o fiind ordinul de multiplicitate al înfășurării ondulate).

Înfășurarea combinată are deci în total $2m_b p+2m_o=4m_b p$ căi de curent, iar la calculul numărului de conductoare ale înfășurării trebuie să se ia $a=2m_b p$, adică numărul perechilor de căi de curent ale înfășurării combinate se ia egal cu numărul căilor de curent ale unei singure înfășurări.

Așezarea în crestături a celor două înfășurări buclată și ondulată este deosebit de simplă pentru a realiza o înfășurare combinată, dacă una din înfășurări se așază la fundul crestăturilor, iar cealaltă peste prima (fig. 4.40, *a*). Tensiunea dintre straturi fiind aproximativ egală cu tensiunea la borne, fiecare strat trebuie izolat corespunzător unul

față de altul. De remarcat că în cazul înfășurărilor executate din bară, înfășurarea situată spre deschiderea crestăturilor se va încălzi mai mult din cauza pierderilor suplimentare care se produc în barele acestei înfășurări.

Un alt mod de executare a înfășurării combinate este următorul : se așază la fundul crestăturii o latură a înfășurării ondulate (și anume latura de ducere), apoi se așază o latură a înfășurării buclate (și

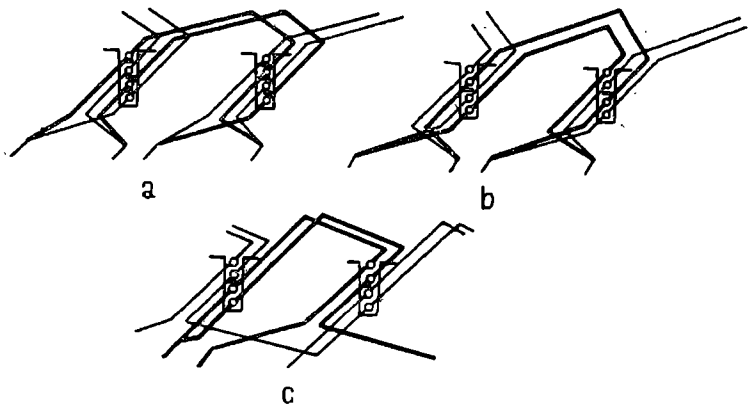


Fig. 4.40. Poziția în crestătură a bobinelor înfășurărilor combinate.

anume latura de întoarcere a înfășurării Latour sau de ducere a înfășurării *BBC*), se introduce o izolație și apoi se așază cealaltă latură a înfășurării buclate și respectiv cea a înfășurării ondulate (fig. 4.40, *b* și *c*). În acest caz, spațiul crestăturii este mai bine utilizat, iar diferența dintre pierderile în înfășurări se micșorează sensibil.

În cazul înfășurării tip *BBC* în bare, conductoarele drepte care formează latura din stînga vor fi contopite într-unul singur, astfel încît laturile de dus, atît ale înfășurării buclate cît și ale celei ondulate, să fie formate dintr-un singur conductor, avînd secțiunea de două ori mai mare decît secțiunea fiecărui conductor de întoarcere.

4.3.5. **Alegerea tipului de înfășurare**

La executarea mașinilor noi și la rebobinarea mașinilor mai vechi se pune problema alegerii tipului de înfășurare ; evident, această operație este mai ușor de făcut cînd putem alege și numărul de lamele și numărul de crestături.

Înfășurările ondulate simple se utilizează la toate mașinile la care numărul de perechi de poli este mai mare decît 1, tensiunea la bornele indusului mașinii este relativ mare, iar curentul total prin indus este sub 400—500 A ; puterea maximă a mașinii care se echipează cu acest tip de înfășurare este în general de 80 kW la 110 V, 150 kW la 220 V sau 300 kW la 440 V. Acest tip de înfășurare nu necesită conexiuni echipotențiale.

Înfășurările buclate simple se utilizează la toate mașinile bipolare de puteri mici, datorită simplității tehnologice și absenței conexiunilor echipotențiale ; acest tip de înfășurare se folosește și la mașinile de curent continuu multipolare de putere mai mare de 300 kW, însă în acest caz este bine să se execute cu conexiuni echipotențiale.

Înfășurările ondulate multiple se utilizează la mașinile de curent continuu care au tensiunea la borne de 220 V sau mai mare, iar curentul peste 500 A.

Înfășurările buclate multiple se utilizează la mașinile de tensiune relativ joasă și curenți foarte mari.

Înfășurările combinate, care prezintă calități deosebite în privința comutației, se utilizează la mașinile de curent continuu cu șocuri mari de sarcină, care creează dificultăți de comutație ; absența conexiunilor echipotențiale simplifică construcția înfășurărilor indusului și compensează în parte dificultatea de a executa practic două înfășurări pe același indus.

În tabela 4.1 sînt grupate caracteristicile înfășurărilor și domeniul lor de aplicare.

De exemplu, la locomotiva Diesel-electrică, produsă de Uzinele Electroputere-Craiova, mașinile electrice de curent continuu principale au următoarele tipuri de înfășurări în indus :

— *Generatorul principal* (1 350 kW, 500 V, 2 700 A, 1 080 rot/min) este echipat în indus cu o înfășurare combinată cu 10 poli, repartizată în 190 crestături și racordată la 380 lamele ; pasul de întoarcere al înfășurărilor buclată și ondulată este același $y_{1b} = y_{1o} = 36$; înfășurarea are $a = 10$ perechi căi de curent (curentul pe cale de curent $I_c = 135$ A).

— *Motorul principal* (194 kW, 250 V, 900 A, 425 rot/min) este echipat în indus cu o înfășurare buclată simplă cu șase poli, repartizată în 75 crestături și racordată la 300 lamele ; pasul de întoarcere al înfășurării este $y_1 = 48$. Înfășurarea este echipată cu legături echipotențiale din 4 în 4 lamele cu pasul ($y_c = 75$) și are $a = 3$ perechi de căi de curent (curentul pe cale de curent $I_c = 150$ A).

— *Generatorul auxiliar* (72 kW, 175 V, 430 A, 1 080 rot/min) este echipat în indus cu o înfășurare ondulată simplă cu opt poli, repartizată în 149 crestături și racordată la 149 lamele ; pasul de întoarcere este $y_1 = 18$; înfășurarea are $a = 1$ pereche de căi de curent (curentul pe cale de curent $I_c = 215$ A).

În general, cînd se rebobinează mașinile de curent continuu se execută același tip de înfășurare în indus, pe care au avut-o anterior.

Tabela 4.1

Caracteristicile înfășurărilor tip indus de curent continuu și domeniul de aplicare

Tipul de înfășurare	y	y_1	y_2	$2a$	Domeniul principal de aplicare
Buclată simplă	$(\pm)\,1$	$\frac{K}{2p}\pm\varepsilon$	y_1-y	$2p$	La mașini de puteri 50—500 kW și tensiuni 110—220 V sau peste 500 kW și 400—600 V
Buclată multiplă	$(\pm)\,m$	$\frac{K}{2p}\pm\varepsilon$	y_1-y	$2mp$	La mașini — de puteri pînă la 50 kW și tensiuni pînă la 24 V — sau peste 500 kW și tensiuni sub 400—600 V
Ondulată simplă	$\frac{K(\mp)\,1}{p}$	$\frac{K}{2p}\pm\varepsilon$	$y-y_1$	2	La mașini — de puteri pînă la 50 kW și tensiuni 110—220 V — de puteri 50—500 kW și tensiuni peste 400 V
Ondulată multiplă	$\frac{K(\mp)\,m}{p}$	$\frac{K}{2p}\pm\varepsilon$	$y-y_1$	$2m$	La mașini de puteri 50—500 kW și tensiuni 400—600 V
Combinată	$(\pm)\,1$ și $\frac{K(\mp)\,m}{p}$	$y_{1b}+y_{1o}=\frac{K}{p}$	$y_{1b}=y_{2o}$	$4mp$	La mașini de puteri mari de 500 kW

Prin schimbarea tipului de înfășurare se pot schimba și caracteristicile mașinii, deoarece tensiunea indusă și curentul total prin indus depind de numărul de căi de curent $2a$, după cum se vede din relațiile :

$$E=\frac{2p}{2a}\,nN\alpha_i\tau l_i B_\delta\,; \tag{4.13}$$

$$I_a=I/2a, \tag{4.14}$$

în care I_a este curentul admisibil pe calea de curent.

Astfel, de exemplu, dacă se transformă o *înfășurare buclată simplă* avînd p perechi de poli într-o *înfășurare ondulată simplă*, tensiunea la bornele mașinii crește de p ori, iar curentul scade de p ori ;

mașina are după rebobinare aceeași putere, însă tensiunea la borne devine pU și curentul $\frac{I}{p}$, deoarece înfășurarea buclată are $2p$ căi de curent, iar cea ondulată numai două căi de curent. Sensul în care se schimbă caracteristicile mașinii indică și domeniul pentru care se folosesc diferitele tipuri de înfășurări ; pe baza acestor considerații rezultă, așa cum s-a mai spus, că înfășurarea buclată se folosește pentru tensiuni relativ joase și curenți mari, iar cea ondulată pentru tensiuni relativ ridicate și curenți relativ mici (400—500 A).

4.4. REBOBINAREA INDUSULUI MAȘINILOR DE CURENT CONTINUU

În general, cînd se rebobinează integral o mașină de curent continuu, nu apar probleme tehnologice diferite de cele întîlnite la executarea mașinilor electrice noi. Singura problemă mai deosebită apare la întocmirea schemei de înfășurare și a schemei de conexiuni și aceasta îndeosebi cînd se schimbă înfășurarea în vederea realizării unor caracteristici deosebite de cele pe care le-a avut mașina inițial.

Rebobinarea unei mașini după aceeași schemă pe care a avut-o mașina necesită identificarea schemei de înfășurare a înfășurării defecte sau, în cazul cînd mașina nu mai are înfășurarea originală, este necesară recalcularea caracteristicilor acestei înfășurări în funcție de datele nominale ale mașinii.

În ceea ce privește schimbarea caracterelor de funcționare, în cele ce urmează vom avea în vedere îndeosebi schimbarea vitezei, menținînd aceeași tensiune la bornele mașinii, și schimbarea tensiunii la borne cînd viteza este constantă.

4.4.1. Determinarea schemei și a caracteristicilor înfășurării tip indus de curent continuu

Caracteristicile principale care ne interesează la rebobinarea unei mașini sînt următoarele :

— numărul de conductoare pe crestătură, N_c, respectiv numărul de spire pe bobină, w_b ;

— secțiunea conductorului, s_c ;

— tipul izolației conductorului (acoperit de două ori cu bumbac sau email, învelit o dată cu bumbac, învelit cu bandă albă etc.).

Pentru înfășurarea indusului și în parte și la înfășurarea de compensare, mai sînt necesare :

— pasul bobinei, y_1, și pasul de legătură, y_2 ;
— pasul la colector, y ;
— numărul de crestături, Z ;
— numărul de lamele la colector, K ;
— pasul legăturilor echipotențiale.

Nu întotdeauna este suficient să urmărim o singură bobină pentru a stabili care sînt pașii înfășurării, fiindcă este posibil ca înfășurarea să fie executată în trepte ; de aceea este necesar să se stabilească pașii pentru cel puțin $u = \frac{K}{Z}$ bobine succesive.

Pentru a evita un nou calcul este util să se măsoare diametrul sîrmei și numărul de spire care formează bandajul de consolidare a capetelor de bobină.

În funcție de starea înfășurării, este necesar să se identifice izolația crestăturii și dimensiunile acesteia, pentru a folosi eventual la rebobinare o izolație de aceeași clasă.

De asemenea este util ca, în cazul înfășurărilor din indus așezate în crestături deschise sau semideschise, să se scoată o bobină intactă, pentru a putea examina forma și a stabili mai ușor dacă este o înfășurare normală (cu bobine egale), în trepte sau specială.

Numărul de conductoare în paralel se deduce direct urmărind legăturile dintre bobine și legăturile la colector sau stabilind numărul de conductoare care aparțin aceleiași bobine și sînt legate la aceleași lamele de colector.

La înfășurările în bare, care au fost introduse radial în crestătură, se recomandă ca barele să fie scoase pe cît posibil intacte, fără îndoiri, deoarece după înlocuirea izolației conductorului și crestăturii se pot utiliza aceleași bare.

Înfășurările combinate se identifică în mod asemănător, stabilind pe rînd caracteristicile fiecărei înfășurări.

La înfășurarea de excitație și a polilor auxiliari, după ce s-a ridicat schema de conexiuni a bobinelor și s-a notat poziția bobinelor pe pol, în caz că sînt mai multe, se demontează bobinele de pe poli și se măsoară dimensiunile interioare ale fiecărei bobine și înălțimea acesteia. În cazul bobinelor de dimensiuni mari și al unui conductor rotund de secțiune mică, dacă nu dispunem de conductorul respectiv, este posibil să se utilizeze din nou același conductor după ce a fost reizolat corespunzător. Trebuie avut grijă ca la desfacerea unei bobine să se noteze numărul de spire pe fiecare strat și numărul de straturi care au același număr de spire pe strat, pentru a putea executa mai ușor bobina.

De multe ori, cînd nu se dispune de un conductor de aceeași secțiune cu secțiunea conductorului original, se recurge la secțiunea imediat inferioară, fiindcă alegînd una superioară s-ar putea ca înfășurarea să nu încapă în crestături. În acest caz, însă, puterea mașinii scade în raport cu secțiunile.

Exemplu. La o mașină de 3 kW, bobinată cu un conductor avînd diametrul de 2 mm ($s_{ct}=3{,}14$ mm^2), dacă se va rebobina ulterior cu un conductor de 1,8 mm ($s_{cr}=2{,}54$ mm^2), puterea mașinii va fi numai

$$P_r=P_t\frac{s_{cr}}{s_{ct}}=3\cdot\frac{\frac{3{,}14\cdot 1{,}8^2}{4}}{\frac{3{,}14\cdot 2^2}{4}}=3\frac{1{,}8^2}{2^2}=2{,}43\text{ kW},$$

(unde P_r este puterea nominală obținută la mașina rebobinată, iar P_t este puterea la mașina inițială), în ipoteză că densitatea de curent rămîne neschimbată.

Dacă se mențin pierderile în înfășurare

$$\rho J_r^2 l_c s_{cr}=\rho J_t^2 l_c s_{ct};$$

rezultă astfel

$$\frac{P_r}{P_t}=\frac{UI_r}{UI_t}=\frac{s_{cr}I_r}{s_{ct}I_t}=\sqrt{\frac{s_{cr}}{s_{ct}}}=\frac{d_r}{d_t}=\frac{1{,}8}{2};\ \text{adică}\ P_r=2{,}7\text{ kW}.$$

4.4.2. Calculul dimensiunilor înfășurării indusului mașinii de curent continuu

Cînd se execută înfășurarea este necesar să se cunoască secțiunea conductorului S_c, numărul de conductoare N și lungimea unui conductor. Pentru calculul acestor caracteristici ale înfășurării este util să se precizeze în prealabil :

— numărul de poli $2p$ ai mașinii (este vorba de polii principali), care la o mașină dată se pot identifica ușor examinînd statorul mașinii ;

— turația mașinii ;

— dimensiunile constructive ale indusului și anume, lungimea și diametrul exterior ale rotorului ;

— tensiunea U_b la bornele indusului și puterea P a mașinii ;

— tipul de înfășurare, pentru a cunoaște numărul căilor de curent.

Pentru calculul secțiunii conductorului se alege densitatea de curent J (pentru conductoarele de cupru se ia între 3,6 și 7 A/mm^2 și anume la mașinile mai mici se iau valori mai mari ; la micromașini

densitatea de curent se ia egală aproximativ cu 10—12 A/mm^2) ; se calculează și curentul prin indus din relația

$$I = \frac{P}{U_b} [\text{A}], \tag{4.15}$$

respectiv curentul pe calea de curent

$$I_a = \frac{I}{2a} [\text{A}]; \tag{4.16}$$

puterea P se ia în waţi.

Secţiunea conductorului este

$$s_c = \frac{I_a}{J} [\text{mm}^2]; \tag{4.17}$$

în continuare se rotunjește această valoare obținută la una standardizată imediat superioară sau inferioară.

Numărul de conductoare se determină din relația

$$N = \frac{60kU_b}{\frac{p}{a} n\alpha_i \tau l_i B_\delta}, \tag{4.18}$$

în care k se ia aproximativ egal cu 1,1—1,2 la generatoare și 0,9—0,8 la motoare ; $\alpha_i = 0{,}65 \ldots 0{,}75$ la mașinile cu poli auxiliari iar la cele fără poli auxiliari se poate lua $\alpha_i = 0{,}7 \ldots 0{,}8$ (prin acest coeficient se ține seama de faptul că la un moment dat nu toate conductoarele sînt situate în cîmpul magnetic B_δ, ci numai cele care sînt repartizate sub piesa polară) n este turația mașinii și se ia în număr de rotații pe minut ; τ este pasul polar și se calculează din relația $\tau = \frac{3{,}14\,D}{2p}$; B_δ este inducția în întrefier și se ia între limitele 0,4 și 0,8 Wb/m^2, în funcție de diametrul mașinii (la mașini mici se iau valori mai mici ale inducției). În formula (4.18) dimensiunile τ și l trebuie luate în metri.

De observat că numărul de conductoare active trebuie să se împartă exact la $2K$ (la dublul lamelelor de colector), deoarece la fiecare lamelă urmează să se lege minimum cîte două conductoare, iar numărul de conductoare cuprins între un conductor de dus și unul de întors este un număr par (adică se împarte exact la 2). Dacă din relația (4.18) rezultă un număr N care nu se împarte exact la $2K$, rotunjim acest număr la unul imediat superior sau inferior care îndeplinește această condiție.

Lungimea conductorului (semispirei) se calculează din relația

$$l_c = l + 2c + 1{,}15\tau + 3{,}14h, \tag{4.19}$$

în care :

l este lungimea indusului ;
c — lungimea cu care iese conductorul drept afară din crestătură (fig. 4.41) și se ia egală cu 0,5—1,5 cm, în funcție de tensiunea mașinii ;
τ — pasul polar și
h — înălțimea crestăturii.

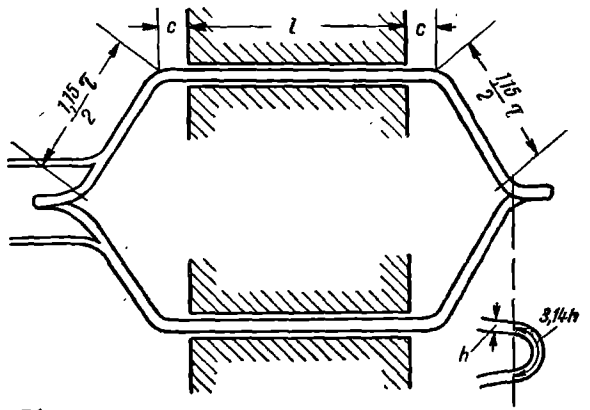


Fig. 4.41. Determinarea lungimii conductorului.

Cunoscînd aceste mărimi, se poate calcula aproximativ greutatea totală a conductorului necesar pentru executarea înfășurării indusului, astfel :

$$G = 8{,}9 \frac{N l_c s_c}{1\,000} \text{ [kgf]}, \tag{4.20}$$

dacă l_c se ia în metri și s_c în milimetri pătrați.

De asemenea, se poate calcula și rezistența R a înfășurării indusului între cele două borne ale indusului

$$R = \rho \frac{1}{(2a)^2} \frac{N l_c}{s_c} \text{ [}\Omega\text{]}, \tag{4.21}$$

unde : ρ este rezistivitatea materialului conductor ;
$2a$ — numărul de căi de curent ;
N — numărul de conductoare ;
l_c — lungimea unui conductor, în m ;
s_c — aria secțiunii conductorului, în mm^2.

Exemplu. Un generator de curent continuu tetrapolar ($2p=4$) are puterea $P=20$ kW, tensiunea la borne $U_b=230$ V, diametrul indusului $D=27{,}5$ cm (pasul polar $\frac{3{,}14D}{2p}=\frac{3{,}14\cdot 27{,}5}{4}=22$ cm), lungimea indusului $l=14$ cm, numărul de crestături $Z=43$, iar numărul de lamele $K=129$. Turația mașinii este $n=970$ rot/min.

Alegem în indus o înfășurare ondulată simplă ($a=1$).

Secțiunea conductorului. Calculăm mai întîi curentul

$$I=\frac{P}{U_b}=\frac{20\,000}{230}=87\text{ A},$$

iar apoi curentul pe cale de curent

$$I_c=\frac{I}{2a}=\frac{87}{2}=43{,}5\text{ A}.$$

Alegem preliminar densitatea de curent $J=5$ A/mm^2 și obținem

$$s_c=\frac{I_c}{J}=\frac{43{,}5}{5}=8{,}7\text{ mm}^2;$$

rotunjim, de exemplu, valoarea secțiunii la $s_c=8{,}76$ mm^2 ($4{,}4\times 2{,}1$ mm^2), care este o secțiune standardizată.

Numărul de conductoare. Alegem inducția $B_\delta=0{,}75$ Wb/m^2 și $\alpha_i=0{,}7$. Deoarece mașina funcționează ca generator, luăm $k=1{,}1$. Numărul de conductoare este

$$N=\frac{60kU_b}{\frac{p}{a}n\alpha_i\tau l_i B_\delta}=\frac{60\cdot 1{,}1\cdot 230}{\frac{2}{1}970\cdot 0{,}7\cdot 0{,}22\cdot 0{,}14\cdot 0{,}75}=484\text{ (conductoare)}.$$

Rotunjim pe N la 516, deoarece acesta este numărul cel mai apropiat de 484 care se împarte exact cu $2K=258$.

Alegem $c=1$ cm, iar înălțimea crestăturii este aproximativ $h=3$ cm.

Lungimea medie a conductorului este

$$l_c=l+2c+1{,}15+3{,}14h=14+2\cdot 1+1{,}15\cdot 22+3{,}14\cdot 3\approx 50\text{ cm}=0{,}5\text{ m}.$$

Greutatea conductorului pentru realizarea înfășurării este

$$G=8{,}9\frac{Nl_c s_c}{1\,000}=8{,}9\frac{516\cdot 0{,}5\cdot 8{,}76}{1\,000}\approx 20{,}1\text{ kgf}.$$

Rezistența înfășurării este

$$R=\rho\frac{1}{(2a)^2}\frac{Nl_c}{s_c}=0{,}017\frac{1}{2^2}\frac{516\cdot 0{,}5}{8{,}76}=0{,}125\ \Omega.$$

4.4.3. Rebobinarea unei mașini de curent continuu în vederea schimbării caracteristicilor

În general, la o mașină de curent continuu nu se schimbă numărul de poli, deoarece ar însemna să se intervină și asupra miezului feromagnetic, dar se pot schimba relativ ușor caracteristicile de funcționare, modificînd în parte sau radical înfășurările statorului și rotorului.

Cele mai frecvente schimbări sînt fie schimbarea tensiunii, fie a turației, fie chiar ambele. Schimbarea uneia din mărimi atrage după sine schimbarea și a altor mărimi, însă solicitările electromagnetice trebuie să rămînă în principal aceleași.

Soluția cea mai potrivită, care să nu influențeze sensibil puterea mașinii, se poate găsi numai cunoscînd bine mașina și identificînd în prealabil toate caracteristicile pe care le-au avut înfășurările. Vom examina pe rînd principalele soluții care se pot da pentru fiecare caz în parte.

a. *Schimbarea valorii tensiunii nominale*

Deseori intervine în practică schimbarea tensiunii la bornele unui motor de curent continuu, dată fiind o nouă sursă de care se dispune, sau schimbarea tensiunii unui generator în vederea utilizării sale în alte scopuri (de exemplu, transformarea unei mașini de curent continuu de uz general în vederea încărcării acumulatoarelor). Schimbarea tensiunii atrage totodată schimbarea curentului, puterea rămînînd practic constantă.

De observat că tensiunea la bornele mașinii nu poate crește peste valoarea care rezultă din relația

$$U = \frac{K}{2p} u, \tag{4.22}$$

în care u este tensiunea admisibilă între lamele și are valoarea 10—20 V (valorile mai mici corespund la mașinile mici). Depășirea valorii indicate pentru tensiunea între lamele conduce la apariția scînteilor pe suprafața colectorului, în zona dintre perii.

Din relația tensiunii induse (4.13) rezultă că pentru a schimba înfășurarea indusului în vederea obținerii unei alte tensiuni induse la aceeași viteză de rotație n a mașinii și la aceleași solicitări magnetice și date constructive (aceeași inducție B_δ, aceleași dimensiuni l_i, τ și aceeași construcție a polului, adică același α_i), singurele mărimi asupra cărora se poate interveni cu ușurință sînt :

— numărul de perechi de căi de curent, a ;

— numărul total de conductoare N ale înfășurării indusului.

După cum s-a arătat, numărul de poli se schimbă mai rar.

Prin schimbarea numărului $2a$ de căi de curent se schimbă nu numai tensiunea, dar și curentul I, deoarece curentul total prin indus este $I=2aI_c$ (unde I_c este curentul pe calea de curent și rămîne constant) ; puterea mașinii rămîne însă constantă.

La fel, prin schimbarea numărului de conductoare N se schimbă secțiunea conductorului, pentru ca să încapă înfășurarea în crestături ; și în acest caz puterea mașinii rămîne aproximativ constantă.

Să examinăm pe rînd aceste soluții.

Schimbarea numărului de căi de curent. Numărul de perechi de căi de curent se poate schimba numai în trepte, fiindcă a poate lua numai valori întregi : 1, 2, 3, ... Micșorarea numărului de căi de curent atrage după sine mărirea tensiunii în același raport (și invers, mărirea numărului de căi de curent conduce la micșorarea tensiunii). Schimbarea numărului de căi de curent impune de obicei schimbarea tipului de înfășurare. La înfășurările buclate multiple de ordinul m_b și avînd p perechi de poli, numărul de perechi de căi de curent este $a_b=m_bp$, iar la cele ondulate multiple de ordinul m_0 și tot pentru p perechi de poli, acest număr este $a_0=m_0$.

Observăm astfel că transformînd o înfășurare buclată simplă avînd $a_b=p$ într-o înfășurare buclată multiplă de ordinul m_b, tensiunea scade de m_b ori ; la fel și pentru înfășurarea ondulată.

Se poate schimba însă și tipul de înfășurare ; astfel, menținînd același ordin de multiplicitate m, dacă transformăm o înfășurare buclată într-o înfășurare ondulată, numărul de căi de curent a scade de $\frac{a_b}{a_0}=\frac{mp}{m}=p$ ori, iar tensiunea crește de p ori și invers.

Nu este posibil însă să se execute o înfășurare ondulată pentru oricare număr de crestături ; de aceea, la elaborarea schemei pentru înfășurarea ondulată este nevoie să se recurgă uneori la alegerea unei înfășurări închise artificial, care este mai complicat de executat. Astfel nu întotdeauna este ușor de transformat o înfășurare pentru o tensiune înaltă, prin schimbarea tipului de înfășurare. În schimb, în locul unei înfășurări ondulate se poate executa întotdeauna o înfășurare buclată.

Din considerațiile de mai înainte deducem că, la înfășurările bipolare, schimbarea tensiunii înfășurării se poate face numai prin schimbarea ordinului de multiplicitate ; astfel, o înfășurare multiplă de ordinul m și pentru tensiunea U se poate transforma într-o înfășurare multiplă de alt ordin m' și tensiunea U', tensiunea schimbîndu-se aproximativ în raportul $U'=U\frac{m}{m'}$.

Înfășurarea care are $a=1$ și este construită pentru tensiunea U nu se poate transforma prin micșorarea numărului de căi de curent într-o înfășurare pentru o tensiune mai mare decît U, fiindcă numărul de căi de curent a nu poate fi subunitar.

Schimbarea numărului perechilor de căi de curent numai prin schimbarea tipului de înfășurare realizată prin modificarea potrivită a legăturilor la colector conduce la o simplificare a procesului tehnologic; schimbarea tipului de înfășurare se poate executa fără a fi necesară rebobinarea integrală a mașinii, numai prin schimbarea legăturilor la colector, dacă acestea sînt suficient de flexibile.

Exemplu. O mașină are tensiunea la borne 220 V, iar înfășurarea indusului este ondulată simplă cu următoarele caracteristici: $Z=K=29$, $2p=4$ și este executată conform indicațiilor din exemplul 1 de la § 4.3.2. b (v. fig. 4.27); se pune problema schimbării înfășurării pentru a obține o tensiune la borne de 110 V, la aceeași viteză.

O soluție simplă a acestei probleme o constituie transformarea înfășurării ondulate simple într-o înfășurare buclată simplă (sau într-o înfășurare ondulată dublă, care însă nu se poate realiza cu atîta ușurință), avînd același număr de perechi de poli. Transformarea se face menținînd pentru bobine aceeași deschidere, adică menținînd pasul la spate $y_1=7$.

În cazul înfășurării buclate simple, pasul rezultant fiind $y=1$, pasul în față este $y_2=y_1-y=7-1=6$ și schema desfășurată a înfășurării se execută simplu conform indicațiilor din § 4.3.1. b. Înfășurarea fiind buclată, necesită și conexiuni echipotențiale de speța I.

Menționăm că dacă mașina echipată cu înfășurarea ondulată a fost prevăzută numai cu două rînduri de perii, după transformare este necesar să se completeze cu toate cele patru grupe de perii, conectate potrivit (periile diametrale se leagă împreună).

De asemenea trebuie să se țină seama că, în general, puterea mașinii, în cazul micșorării tensiunii, nu se mai poate menține aceeași, deoarece colectorul nu va putea suporta un curent de două ori mai mare decît cel pentru care a fost construit.

Exemplu. O mașină de curent continuu construită pentru tensiunea de 110 V are indusul echipat cu o înfășurare buclată caracterizată prin $Z=K=20$ și $2p=4$; se pune problema schimbării înfășurării pentru tensiunea 220 V, la aceeași viteză.

Soluția acestei probleme constă în transformarea înfășurării buclate într-o înfășurare ondulată simplă; deoarece

$$y=\frac{K-m}{p}=\frac{20-1}{2}$$

nu este un număr întreg, înfășurarea nu se poate executa decît apelînd la un artificiu și anume lăsînd secția 10—15 în afara calculelor noastre (ceea ce revine la a considera că mașina are $Z'=K'=19$ crestături, respectiv lamele). Înfășurarea se execută în acest caz după schema din fig. 4.33.

Numărul de conductoare N ale înfășurării indusului rezultă din relația (4.18) și este proporțional cu tensiunea indusă ; deci tensiunea la borne se poate schimba dacă la rebobinarea înfășurării indusului se adoptă un alt număr de conductoare pentru înfășurare.

Numărul de conductoare N trebuie să se împartă exact la $2Z$, pentru a obține un număr întreg de conductoare pe strat, deci trebuie ca

$$\frac{N}{2Z} = \text{număr întreg.} \tag{4.23}$$

Această condiție se poate realiza relativ simplu la mașinile de putere mică și tensiune mare, care au un număr mare de conductoare în crestătură. Numărul de spire pe bobine poate fi diferit.

O dată cu schimbarea numărului de conductoare trebuie schimbată și secțiunea conductorului, pentru ca înfășurarea să aibă loc în crestături ; în cazul în care se schimbă înfășurarea de la o tensiune U_1 mai mare la o tensiune U_2 mai mică, secțiunea conductorului crește aproximativ în raportul U_1/U_2 și executarea înfășurării este relativ simplă în comparație cu problema inversă, cînd se trece de la o tensiune mai mică la alta mai mare și secțiunea conductorului scade, iar numărul de conductoare crește. În acest ultim caz crește și izolația totală din crestătură ; pentru ca înfășurarea să încapă totuși în crestături, secțiunea conductorului se alege mai mică. Puterea mașinii scade aproximativ cu abaterea secțiunii conductorului față de cea care rezultă din relația $s_{c2} = \frac{U}{U_1} s_{c1}$ (în care tensiunea U_2 este mai mică decît U_1).

În ceea ce privește *înfășurarea de excitație și înfășurarea polilor de comutație,* o dată cu schimbarea tensiunii trebuie analizată mai întîi posibilitatea schimbării schemei de conexiuni pentru a obține un număr de căi de curent potrivit ; în cazul cînd pe această cale nu se poate rezolva problema, se poate recurge la schimbarea numărului de spire ale înfășurării.

Dacă înfășurarea de excitație are o singură cale de curent, mărirea tensiunii peste cea la care a fost construită mașina se poate face numai schimbînd numărul de spire ale înfășurării.

Relațiile dintre tensiune și numărul de spire, respectiv dintre tensiune și secțiunea conductorului, conduc la aceleași concluzii : mărirea tensiunii atrage după sine mărirea numărului de spire și micșorarea secțiunii conductorului și invers.

Exemplu. O mașină de curent continuu tetrapolară are tensiunea la borne 220 V, iar înfășurarea de excitație derivație este executată cu o singură cale de curent; se pune problema schimbării conexiunilor înfășurării pentru tensiunea la borne de 110 V.

O soluție imediată a problemei este următoarea: bobinele de excitație care erau legate în serie (fig. 4.42, *a*) se conectează două cîte două în paralel, ca în fig. 4.42, *b*.

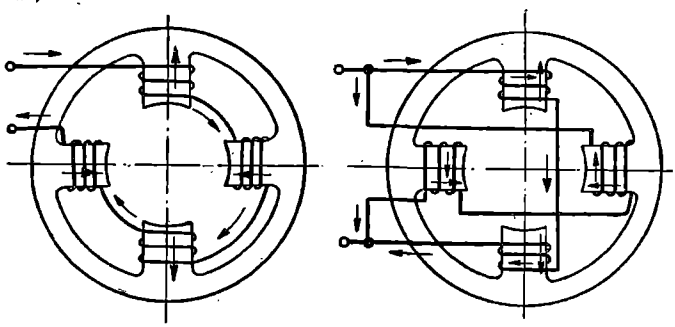


Fig. 4.42. Inductorul cu înfășurarea de excitație a unei mașini de curent continuu tetrapolare:
a — bobinele polilor conectate în serie; *b* — bobinele polilor conectate două cîte două în serie și apoi în paralel.

Se constată în primul caz că, tensiunea pe bobină este $u_b = \frac{220}{4} = 55$ V; în al doilea caz sînt conectate două bobine în serie la tensiunea de 110 V și tensiunea pe bobină este $u_b = \frac{110}{2} = 55$ V. Aceasta înseamnă că și curentul prin bobină a rămas neschimbat.

Analog se procedează și cu înfășurarea polilor de comutație.

b. *Schimbarea turației nominale*

La mașinile de curent continuu, schimbarea turației implică anumite verificări speciale în cazul măririi vitezei, și micșorarea puterii în cazul micșorării vitezei. Vom examina pe rînd influența pe care o are schimbarea turației asupra fiecărui parametru, considerînd mai întîi că înfășurările mașinii rămîn neschimbate.

Mai tîrziu, *curentul rămîne practic neschimbat*, dacă se menține înfășurarea atît în stator, cît și în rotor. La micșorarea turației scade simțitor și debitul de aer dat de ventilatorul mașinii și încălzirea mașinii crește; de aceea, la micșorarea turației este necesar să se micșoreze întrucîtva intensitatea curentului.

Tensiunea indusă în mașină se calculează din relația (4.13); o dată cu *creșterea turației n crește și tensiunea E* și aceasta ar con-

duce la solicitarea suplimentară a izolației dintre spire și la mărirea tensiunii dintre lamelele colectorului.

Pentru a menține tensiunea la borne, *la schimbarea vitezei trebuie schimbate și înfășurările mașinii* ; totodată se modifică și curentul I prin indusul mașinii.

Dacă tensiunea este constantă, micșorarea turației n este echivalentă cu creșterea numărului de conductoare N sau cu micșorarea numărului de căi de curent $2a$.

Puterea mașinii este dată de relația

$$P=kEI, \tag{4.24}$$

în care k depinde de randamentul mașinii ; deci puterea scade o dată cu scăderea turației, atît din cauza scăderii tensiunii induse E, cît și din cauza scăderii întrucîtva a curentului I.

Mărirea turației mașinii conduce însă la mărirea solicitărilor mecanice ale colectorului, ale bandajului de consolidare a capetelor de bobină și la creșterea pierderilor prin frecare. Numai un calcul mai amănunțit poate să decidă asupra posibilității de funcționare a mașinii la viteză mărită.

Rebobinarea mașinii pentru turații mai mici decît turația pentru care a fost proiectată mașina conduce la realizarea unei mașini de putere mai mică ; calculul înfășurării în acest caz este echivalent cu calculul întîlnit la mărirea tensiunii în raportul n_1/n_2, n_1 fiind turația pe care o avea mașina înainte de schimbare, iar n_2 turația după schimbare.

5. Înfășurările de curent alternativ

5.1. DEFINIȚIE. CLASIFICAREA ÎNFĂȘURĂRILOR DUPĂ NUMĂRUL DE FAZE ȘI DUPĂ CONSTRUCȚIE. DOMENII DE UTILIZARE

Înfășurările parcurse de curent alternativ, folosite în general în construcția mașinilor electrice sincrone și asincrone, se numesc înfășurări de curent alternativ.

După numărul de faze înfășurările se clasifică astfel:
— înfășurări monofazate (cu o singură fază);
— înfășurări bifazate (cu două faze);
— înfășurări trifazate (cu trei faze);
— înfășurări polifazate (cu mai mult de trei faze).

După construcția lor se deosebesc:
— înfășurări bobinate;
— înfășurări în colivie.

Înfășurările bobinate se utilizează la indusul mașinilor sincrone, la statorul mașinilor asincrone, precum și la rotorul cu inele de contact al mașinilor asincrone. Asemenea înfășurări se folosesc și la rotoarele bobinate fără inele de contact ale mașinilor asincrone, la care extremitățile înfășurărilor (începuturile și respectiv sfîrșiturile) sînt legate împreună.

Înfășurările în colivie se utilizează la rotoarele în scurtcircuit ale motoarelor asincrone și la mașinile sincrone; în ultimul caz ele sînt denumite, după rolul pe care îl au, înfășurări de amortizare la generatoarele sincrone sau de pornire și amortizare la motoarele sincrone.

5.2. ÎNFĂȘURĂRILE BOBINATE

5.2.1. Elementele constructive ale înfășurărilor și reprezentarea lor în scheme. Tipuri de înfășurări

Elementele constructive de bază care se utilizează la execuția înfășurărilor bobinate sînt: bobina, grupa de bobine, semispira și grupa de semispire.

Adoptarea unui anumit element constructiv de bază se face în funcție de caracteristicile înfășurării, cărora le corespund anumite forme de crestături și anumite metode de bobinare (v. cap. 10).

Bobina este compusă din una sau mai multe spire legate în serie; ea are două laturi care se dispun în crestături și două părți frontale care leagă corespunzător laturile între ele, de o parte și de alta a miezului magnetic.

Extremitățile conductorului de bobinaj din care este executată bobina le numim capete de legătură ale bobinei. În legătură cu modul de executare a bobinei, ele se mai numesc adesea începutul și sfîrșitul bobinei și anume, extremitatea conductorului cu care se începe înfășurarea se numește început, iar aceea cu care se termină se numește sfîrșit.

În fig. 5.1 sînt reprezentate două bobine cu mai multe spire, din conductor rotund. Privind bobina dintr-o parte a planului limitat de conturul spirelor ei și urmărind conductorul de bobinaj de la începutul spre sfîrșitul bobinei, se obține sensul de înfășurare al spirelor în bobină, spre dreapta în fig. 5.1, *a* și spre stînga în fig. 5.1, *b*.

Sensul de înfășurare al spirelor în bobină apare inversat dacă se privește bobina din cealaltă parte a planului limitat de conturul spirelor. Din această cauză, în studiul înfășurărilor nu vom considera ca-

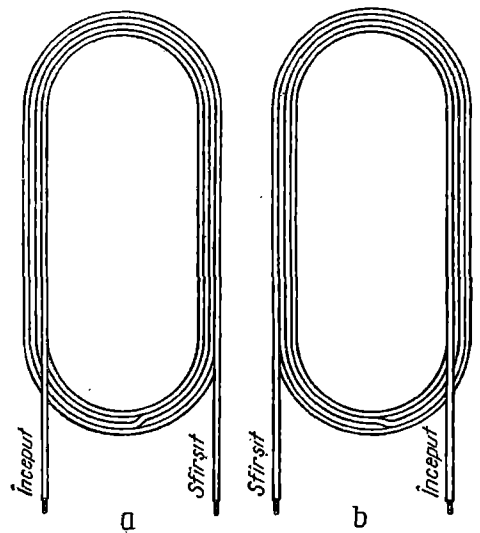


Fig. 5.1. Bobine cu multe spire, din conductor rotund:
a — cu sensul de înfășurare spre dreapta; *b* — cu sensul de înfășurare spre stînga.

petele de legătură ale bobinei (început și sfîrșit) în corespondență cu sensul de înfășurare al spirelor în bobină, ci vom conveni să denumim *început* — capătul de legătură din latura din stînga a bobinei și *sfîrșit* — capătul de legatură din latura din dreapta a bobinei.

Deschiderea dintre laturile bobinei, exprimată în număr de crestături, se numește pasul bobinei și se notează cu y. În exprimare curentă pasul $y=5$, de exemplu, se poate citi astfel : $y=1$ la 6.

Bobina se execută din conductor rotund sau dreptunghiular.

La bobinele executate cu un singur conductor, numărul de conductoare dintr-o latură a bobinei este egal cu numărul de spire al bobinei, iar la bobinele executate cu mai multe conductoare în paralel, numărul de conductoare din latura bobinei va fi egal cu produsul

dintre numărul de spire al bobinei și numărul de conductoare în paralel.

Numărul de conductoare dintr-o crestătură este egal cu suma conductoarelor tuturor laturilor de bobine dispuse în crestătură ; la înfășurările executate cu bobine cu același număr de spire numărul de conductoare dintr-o crestătură este egal cu produsul dintre numărul de laturi de bobine dispuse în crestătură și numărul de conductoare dintr-o latură.

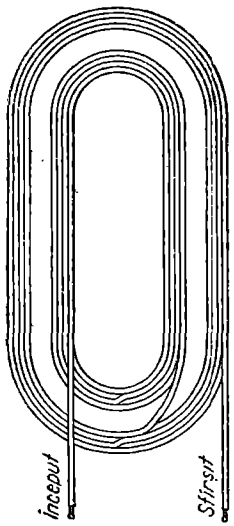


Fig. 5.2. Grupă de două bobine concentrice (cu deschidere diferită), din conductor rotund.

Grupa de bobine este compusă din mai multe bobine legate în serie și dispuse între ele concentric (fig. 5.2) sau decalat (fig. 5.3). În primul caz bobinele din grupă au deschideri diferite — pași diferiți, iar în al doilea caz ele au același pas.

Succesiunea bobinelor în cadrul grupei de bobine decalate, poate fi spre dreapta sau spre stînga, sus sau jos, (v. fig. 5.3). În execuția înfășurărilor la care se utilizează ca element constructiv de bază grupa de bobine, schema înfășurării este ușor de urmărit dacă succesiunea bobinelor în grupă este aceeași pentru toate grupele.

În cazul utilizării grupelor de bobine egale (cu aceeași deschidere), cu succesiunea bobinelor în grupă spre dreapta sus (fig. 5.3, *a*) sau spre stînga jos (fig. 5.3, *d*), sensul de succesiune al introducerii laturilor de bobine în crestături este același și anume, spre dreapta. În acest caz, coroana capetelor frontale ale bobinelor se formează spre dreapta, dinspre dreapta jos, spre stînga sus. În cazul folosirii grupelor de bobine similare celor reprezentate în fig. 5.3, *b* sau fig. 5.3, *c*, coroana capetelor frontale ale bobinelor se formează spre stînga, dinspre stînga jos spre dreapta sus (v. cap. 10).

Deoarece cu două tipuri de grupe de bobine, spre exemplu cu succesiunea bobinelor în grupă spre dreapta sus sau spre stînga jos, se obține aceeași succesiune în introducerea laturilor de bobine în crestături, este recomandabil să se prefere acele scheme ale înfășurărilor care necesită legăturile cele mai scurte posibil între grupele succesive. În fig. 5.4 este reprezentată o înfășurare constituită din două

grupe de bobine avînd succesiunea bobinelor în grupe spre dreapta sus (fig. 5.4, *a*) și spre stînga jos (fig. 5.4, *b*). Sensul în ordinea de introducere a laturilor de bobine în crestături este același în cele două cazuri, dar se observă, că legătura dintre grupele de bobine în fig. 5.4, *a* este mai scurtă decît aceea în figura 5.4, *b*; de aceea se recomandă prima schemă. Grupa de bobine ca element constructiv de bază al înfășurării se execută în general numai din conductor rotund.

Semispira (vezi figura 5.5), se execută din conductor dreptunghiular și se utilizează ca element constructiv de bază la înfășurările în bare, ondulate și buclate.

Bobinele din semispire se obțin prin îmbinarea directă sau cu ajutorul unei mufe, prin lipire sau sudare, a capetelor de legătură ale semispirelor corespunzătoare. Bobinele astfel constituite vor avea cîte o singură spiră.

În funcție de valoarea curentului înfășurării la care se folosesc semispirele, acestea se

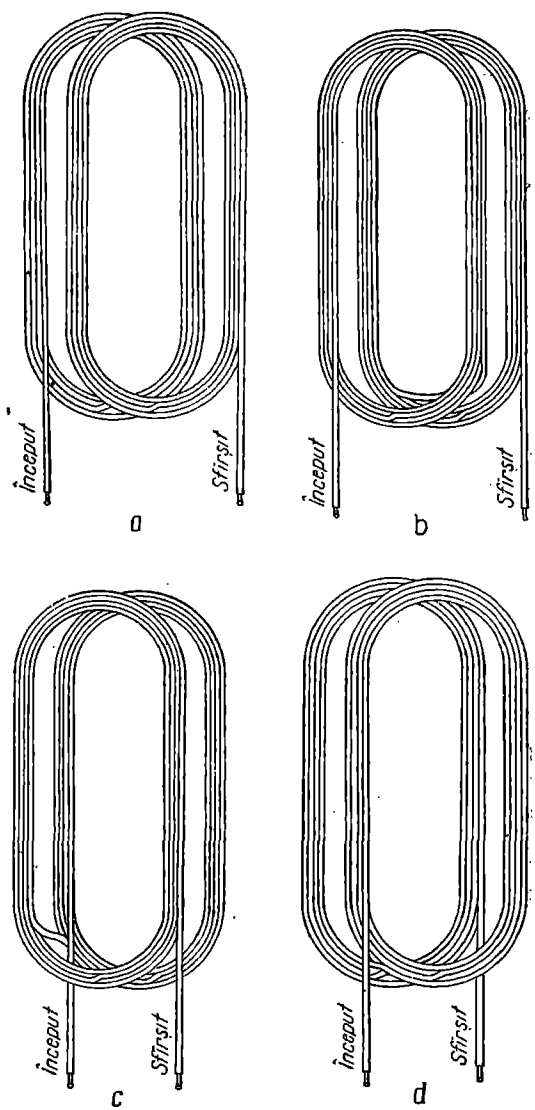


Fig. 5.3. Grupă de două bobine decalate (cu deschidere egală) din conductor rotund, cu succesiunea bobinelor în grupe:
a — spre dreapta sus; *b* — spre dreapta jos; *c* — spre stînga sus; *d* — spre stînga jos.

pot executa dintr-un conductor sau din mai multe conductoare conectate în paralel. La înfășurările de curenți mari se utilizează semispira din mai multe conductoare în paralel, între care, în crestătură, se fac transpoziții în vederea uniformizării repartiției curentului prin conductoarele elementare conectate în paralel. Conductoarele în paralel ale semispirei sînt izolate între ele pe porțiunea din crestătură.

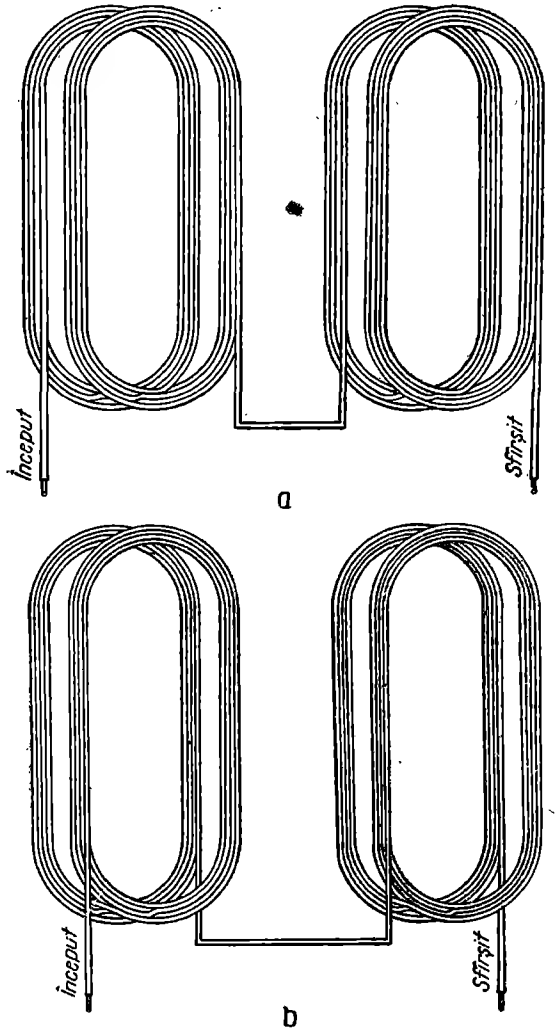


Fig. 5.4. Înfășurare cu două grupe de bobine: *a* — succesiunea bobinelor în grupă spre dreapta sus; *b* — succesiunea bobinelor în grupă spre stînga jos.

În cazul înfășurărilor la care semispira este executată dintr-un singur conductor, în crestătură se va găsi un număr de conductoare egal cu numărul de laturi de semispire din crestătură. La înfășurările din semispire cu conductoare în paralel, numărul de conductoare din crestătură este egal cu produsul dintre numărul laturilor de semispire din crestătură și numărul de conductoare în paralel dintr-o semispiră.

Grupa de semispire (fig. 5.6) este constituită din mai multe semispire și se utilizează ca element constructiv de bază la înfășurările în bare buclate și ondulate.

Bobinele acestor înfășurări se obțin de asemenea prin îmbinarea directă sau cu ajutorul unor mufe, prin lipirea sau sudarea capetelor de legătură a semispirelor corespunzătoare. Bobi-

nele înfășurărilor din grupe de semispire au cîte o singură spiră în cazul înfășurărilor ondulate și respectiv mai multe spire în cazul înfășurărilor buclate.

Prin legături corespunzătoare între bobine, grupe de bobine, semispire sau grupe de semispire, se realizează înfășurările diferitelor faze. La oricare înfășurare, indiferent care este elementul constructiv

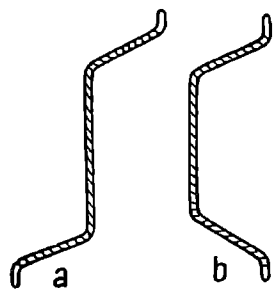


Fig. 5.5. Semispiră dintr-un singur conductor: *a* — dintr-o înfășurare ondulată; *b* — dintr-o înfășurare buclată.

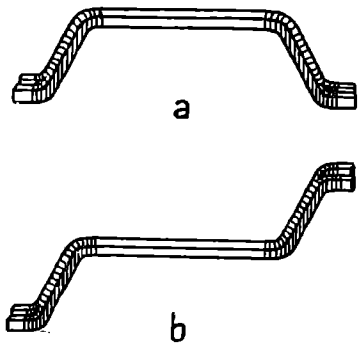


Fig. 5.6. Grupă de semispire: *a* — dintr-o înfășurare buclată; *b* — dintr-o înfășurare ondulată.

de bază adoptat, în procesul tehnologic de execuție a înfășurării se realizează un anumit număr de bobine și o anumită repartizare a acestora în diferitele grupe de bobine.

La toate înfășurările bobina apar ca element constitutiv de bază, deși din punct de vedere funcțional spira reprezintă elementul de bază în calculul tensiunii induse.

În schemele desfășurate ale înfășurărilor, se reprezintă bobinele după conturul lor geometric. În fig. 5.7, *a* și *b* s-au reprezentat bobine dintr-o înfășurare buclată, respectiv ondulată, în fig. 5.7, c și *d*, grupe de cîte trei bobine cu deschideri egale, iar în fig. 5.7, *e* și *f*, grupe de bobine concentrice cu deschideri diferite.

În schemele înfășurărilor se consideră începuturi capetele de legătură scoase din laturile din stînga ale bobinelor, iar sfîrșituri, capetele de legătură scoase din laturile din dreapta. La grupele de bobine cu deschidere egală, începutul și sfîrșitul sînt scoase din laturile de bobine interioare ale grupei pentru grupe cu succesiunea bobinelor în grupă spre stînga (fig. 5.7, c) și respectiv din laturile de bobine exterioare ale grupei pentru grupe cu succesiunea bobinelor în grupă spre dreapta, (fig. 5.7, *d*). Legăturile interioare dintre bobinele grupei co-

respund sensului de succesiune al bobinelor în grupă și se reprezintă în mod corespunzător (v. fig. 5.7, c și *d*). La grupele de bobine concentrice începutul poate fi scos din latura din stînga a bobinei inte-

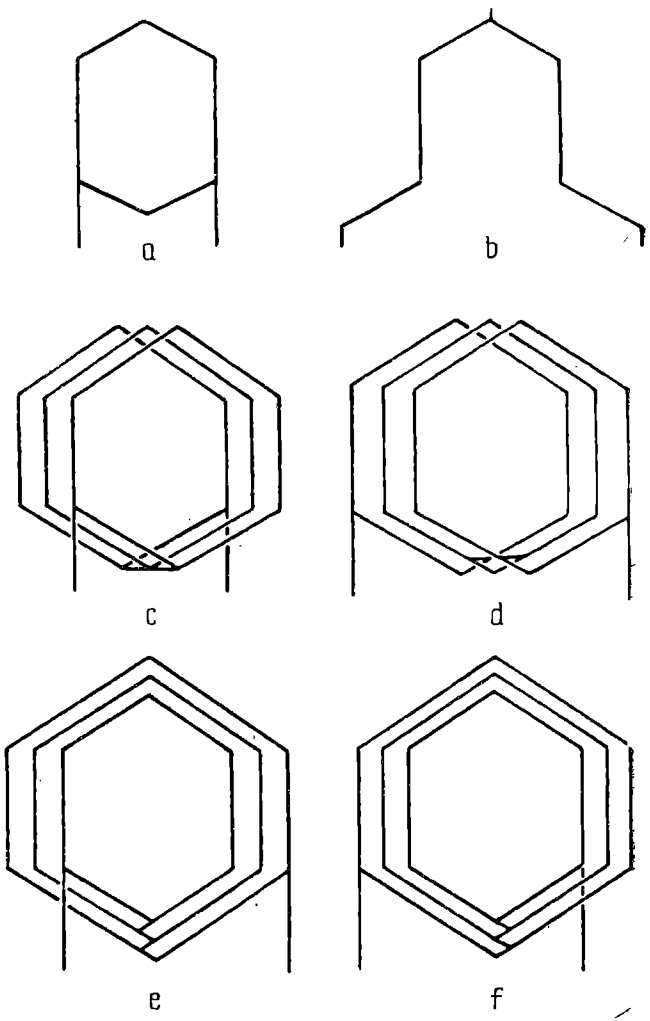


Fig. 5.7. Reprezentarea elementelor constitutive ale înfășurărilor :

a, b — bobine, dintr-o înfășurare buclată în (*a*), și ondulată în (*b*); *c, d* — grupă din trei bobine egale, cu succesiunea spre stînga în (*c*) și spre dreapta în (*d*); *e, f* — grupă din trei bobine concentrice, cu succesiunea spre exterior (*e*) și spre interior (*f*).

rioare (fig. 5.7, *e*) sau din latura din stînga a bobinei exterioare (fig. 5.7, *f*) și corespunzător acestora, sfîrșitul va fi scos din latura din dreapta a bobinei exterioare și respectiv din latura din dreapta a bobinei interioare. Legăturile interioare dintre bobinele grupei se reprezintă de asemenea distinct în cele două cazuri (v. fig. 5.7, *e* și *f*) și ele corespund modului în care se succed bobinele în grupă, de la interior spre exterior în fig. 5.7, *e* și respectiv de la exterior spre interior în fig. 5.7, *f*.

În grupele de bobine egale sau concentrice, în aceleași condiții, se induc tensiuni electromotoare de aceeași valoare, dacă laturile bobinelor ocupă aceleași crestături într-o mașină electrică dată.

După numărul laturilor de bobine dintr-o crestătură, se deosebesc:

— înfășurări într-un strat, la care fiecare latură de bobină ocupă cîte o crestătură (fig. 5.8, *a*);

— înfășurări în două straturi, la care două laturi de bobine ocupă cîte o crestătură (fig. 5.8, *b*);

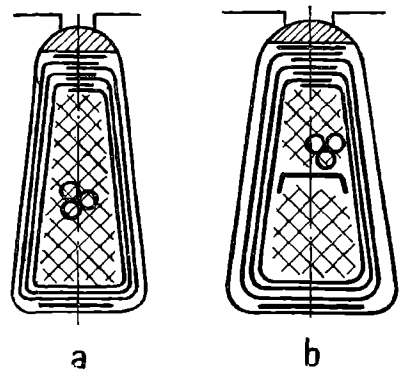


Fig. 5.8. Secțiune printr-o crestătură a unei înfășurări:
a — într-un strat; *b* — în două straturi.

— înfășurări dispuse parțial într-un strat și parțial în două straturi, la care în anumite crestături se găsește cîte o latură de bobină, iar în celelalte cîte două laturi de bobine.

Dacă pasul mediu al bobinelor (la înfășurările constituite din bobine care au aceeași deschidere, pasul mediul este însuși pasul bobinei) este egal cu pasul polar, înfășurările respective sînt diametrale; în alte cazuri ele pot fi, față de cele diametrale, cu pas scurtat sau cu pas lungit. În practică se întîlnesc toate aceste tipuri de înfășurări.

5.2.2. Caracteristicile și funcțiunile înfășurărilor de curent alternativ, bobinate

a. *Dispunerea relativă a înfășurării fazelor în mașinile de curent alternativ*

În cazul rețelelor electrice de curent alternativ cu mai multe faze, tensiunile fazelor variază sinusoidal în timp, avînd între ele un anumit defazaj. La generatoarele sincrone defazajul în timp, dintre ten-

siunile induse în înfășurări, apare datorită dispunerii înfășurărilor de fază în poziții decalate la periferia mașinii.

În fig. 5.9, este reprezentat rotorul unei mașini sincrone bipolare într-o poziție oarecare (reprezentată cu linie continuă) și după un sfert de perioadă (reprezentată cu linie întreruptă).

În cazul unei mașini sincrone tetrapolare, sfertul de perioadă corespunde unei mișcări de rotație a polilor pe a opta parte din circumferință (fig. 5.10).

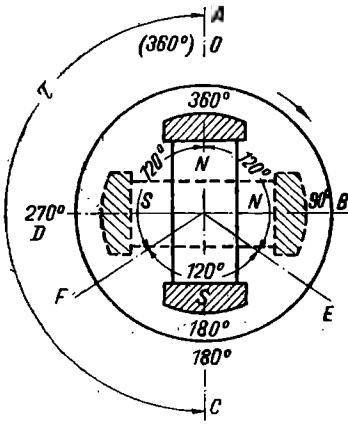


Fig. 5.9. Inductor bipolar reprezentat în două poziții.

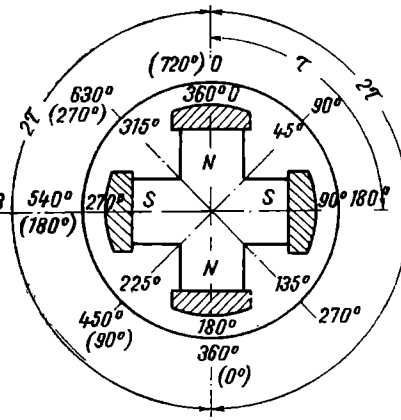


Fig. 5.10. Inductor tetrapolar.

Deoarece fiecărui pol îi corespunde un pas polar, în cazul unei mașini sincrone bipolare, întreaga circumferință a miezului magnetic se împarte în doi pași polari (fig. 5.9). La mașina tetrapolară (fig. 5.10) circumferința miezului magnetic se împarte în patru pași polari. În cazul general, cînd mașina are $2p$ poli, numărul de pași polari pe periferia miezului magnetic este $2p$.

Știind că unui dublu pas polar (2τ) îi corespunde un unghi electric egal cu 360° electrice sau 2π radiani și o perioadă T de variație a tensiunii alternative, rezultă că se obțin tensiuni bifazate, adică defazate între ele cu 90° sau cu $\frac{\pi}{2}$ radiani electrici, dacă înfășurările sînt decalate în spațiu cu $\frac{2\tau}{4}$; pentru tensiuni trifazate, decalajul în spațiu al înfășurărilor trebuie să fie $\frac{2\tau}{3}$ ceea ce corespunde la 120° electrice sau la $\frac{2\pi}{3}$ radiani electrici.

În practică, decalajul dintre înfășurările fazelor succesive se exprimă obișnuit în număr de crestături. Deoarece la un pas polar τ corespund $\frac{Z}{2p}$ crestături, unde Z este numărul de crestături în care se dispune înfășurarea iar $2p$ numărul de poli, decalajul dintre înfășurările succesive va fi $\frac{Z}{4p}$ pentru înfășurări bifazate și respectiv $\frac{Z}{3p}$ pentru înfășurările trifazate.

Începuturile, respectiv sfîrșiturile înfășurărilor de fază apar decalate în schemele înfășurărilor bifazate cu

$$y_{i,s} = \frac{Z}{4p} + k\frac{Z}{p} \text{ (crestături)} ; \tag{5.1}$$

($y_{i,s}$ este denumit pasul între începuturile, respectiv sfîrșiturile înfășurărilor de fază), iar la înfășurările polifazate cu numărul de faze mai mare decît doi,

$$y_{i,s} = \frac{Z}{mp} + k\frac{Z}{p} \text{ (crestături)} ; \tag{5.2}$$

în care $k=0, 1, 2, 3 \ldots$ Uzual pentru factorul k se ia valoarea $k=0$ și rezultă astfel

$$y_{i,s} = \frac{Z}{4p} \text{ crestături la înfășurările bifazate} ;$$

$$y_{i,s} = \frac{Z}{3p} \text{ crestături la înfășurările trifazate.}$$

La înfășurările bipolare, începuturile și sfîrșiturile înfășurărilor apar repartizate simetric în schemele înfășurărilor.

La înfășurările multipolare, începuturile și sfîrșiturile înfășurărilor apar repartizate simetric pe cîte o pereche de poli și prin urmare sînt scoase grupat în cîte o parte a mașinii.

O valoare diferită de zero pentru factorul k în relațiile 5.1 și 5.2, se alege în scopul dispunerii echidistante a începuturilor și sfîrșiturilor înfășurării la periferia mașinii în cazul rotoarelor bobinate ale mașinilor multipolare (p mai mare decît 1) ; în funcție de numărul de perechi de poli p, valoarea lui k se calculează cu una din relațiile :

$$k = \frac{p-1}{m} \quad \text{sau} \quad k = \frac{2p-1}{m}$$

reținînd pentru k numai valoarea întreagă. În tabela 5.1 s-au dat valorile lui k în funcție de numărul de perechi de poli p.

Tabela 5.1

Valorile factorului k în funcție de numărul de perechi de poli

p	2	4	5	7	8	10	11	13	14	16	17	19	20	22
k	1	1	3	2	5	3	7	4	9	5	11	6	13	7

De observat că pentru înfășurările hexapolare sau multiplul acestora, niciuna din relațiile lui k nu conduc la numere întregi și în consecință nu se pot scoate echidistante începuturile, respectiv sfîrșiturile înfășurărilor fazelor.

Pentru exemplificare s-au reprezentat schematic două înfășurări bipolare într-un strat și anume o înfășurare bifazată în fig. 5.11 și una trifazată în fig. 5.12. Examinînd schemele desfășurate ale acestor înfășurări rezultă că înfășurarea fiecărei faze este compusă din cîte o singură bobină avînd deschiderea egală cu pasul diametral (1 la 3 din fig. 5.11 și 1 la 4 în fig. 5.12), iar decalajul dintre începuturile înfășurărilor fazelor succesive, exprimat în număr de crestături, este egal cu o crestătură în fig. 5.11 și cu două crestături în fig. 5.12. Decalajele rezultă corespunzător din expresiile (5.1) și (5.2) înlocuind $Z=4$, $m=2$, $p=1$ în expresia (5.1) și respectiv $Z=6$, $m=3$ și $p=1$ în expresia (5.2).

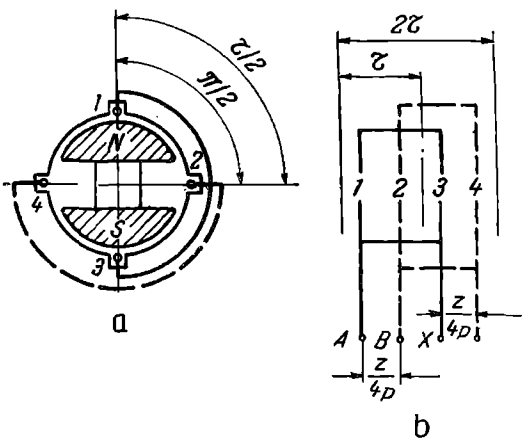


Fig. 5.11. Înfășurare bifazată :
a — așezată pe o armătură bipolară; *b* — schema desfășurată a înfășurării.

Înfășurări tetrapolare, bifazată și respectiv trifazată, s-au reprezentat corespunzător în fig. 5.13 și 5.14. În cazul acestora, înfășurarea fiecărei faze este compusă din cîte două bobine, adică o înfășurare tetrapolară conține două înfășurări corespunzătoare bipolare, iar decalajele corespunzătoare dintre începuturile înfășurărilor rezultă din expresia (5.1), pentru $k=0$ în fig. 5.13, *b* și pentru $k=1$ în fig. 5.13, c,

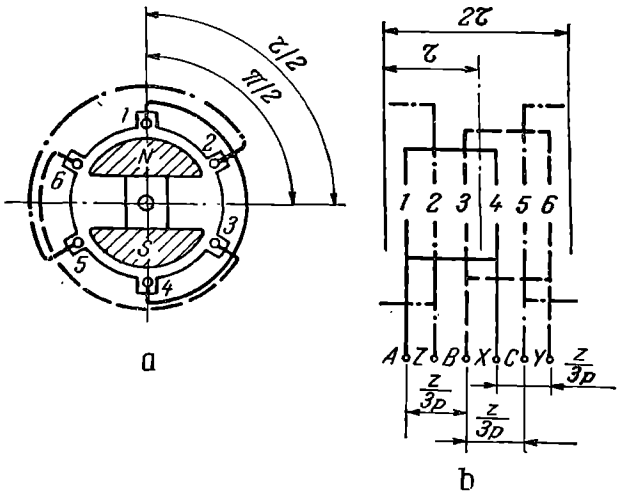


Fig. 5.12. Înfășurare trifazată :
a — așezată pe o armătură bipolară; *b* — schema desfășurată a înfășurării.

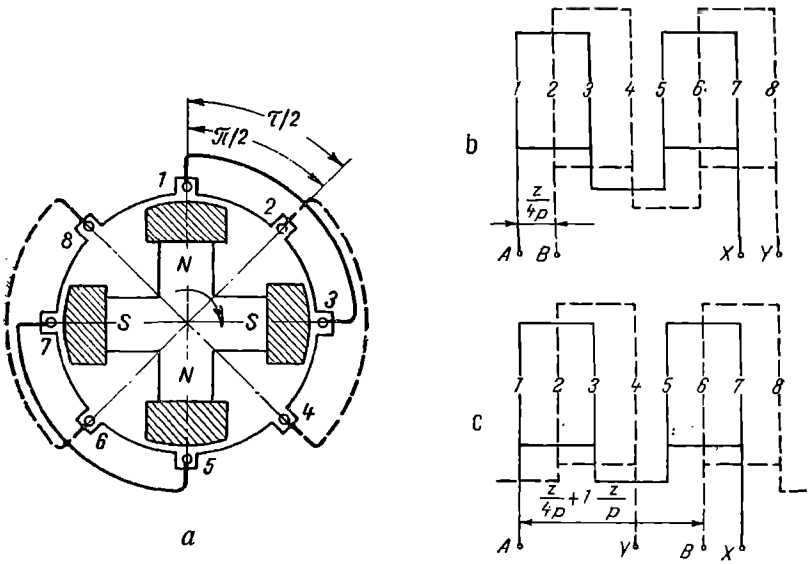
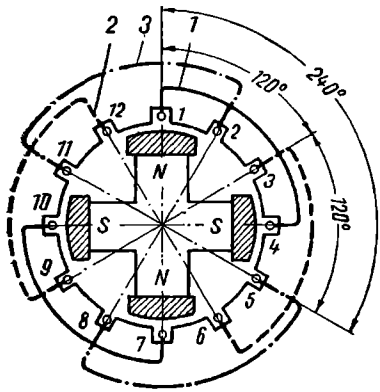


Fig. 5.13. Înfășurare bifazată :
a — așezată pe o armătură tetrapolară; *b*, *c* — schemele desfășurate ale înfășurării.

iar din expresia (5.2) pentru $k=0$ în fig. 5.14, *b* și pentru $k=1$ în fig. 5.14, *c*. La înfășurările tetrapolare se pot obține deci, pentru aceeași înfășurare, două scheme distincte una având începuturile fazelor grupate, iar alta echidistanțate.



a

Înfășurările realizate după oricare din cele două scheme, se vor comporta la fel, deoarece decalajul în cîmp între înfășurările fazelor succesive este același.

În figurile 5.11 ... 5.14 înfășurările diferitelor faze s-au reprezentat și notat astfel : cu linie continuă înfășurarea *A*—*X* a primei faze, cu linie întreruptă înfășurarea *B*—*Y* a celei de a doua faze și cu linie punct înfășurarea *C*—*Z* a celei de a treia faze ; acest mod de reprezentare și notare se adoptă în continuare la toate înfășurările trifazate.

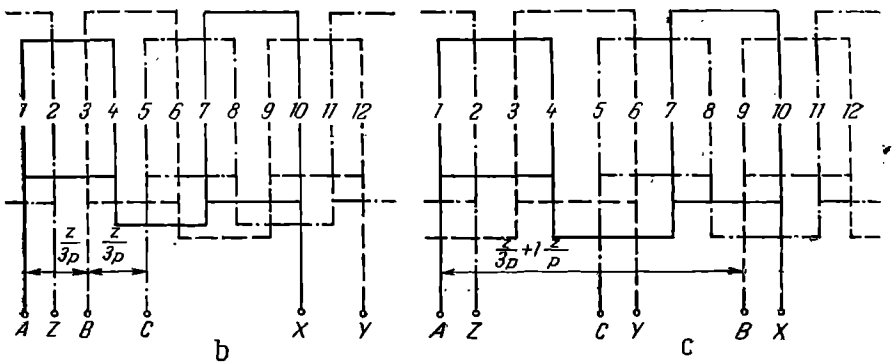


Fig. 5.14. Înfășurare trifazată cu $2p=4$ și $Z=12$:
a — așezată pe o armătură tetrapolară; *b*, *c* — schemele desfășurate ale înfășurării.

Înfășurările într-un strat cu cîte o bobină pe perechea de poli și fază, de tipul celor reprezentate în figurile 5.11 ... 5.14, sînt de fapt înfășurări concentrate și prezintă dezavantajul că forma tensiunii electromotoare induse în asemenea înfășurări se îndepărtează de sinusoidă, avînd exact forma curbei cîmpului inductor ; astfel de înfășurări concentrate de curent alternativ se utilizează numai la micro-

motoare. În construcția mașinilor electrice de puteri mici, mijlocii și mari se utilizează înfășurările repartizate ; în acest caz, înfășurarea fiecărei faze are două sau mai multe bobine pe perechea de poli ; la aceste înfășurări forma tensiunii electromotoare induse se apropie de sinusoidă pe măsura repartizării.

În fig. 5.15 este reprezentată curba cîmpului magnetic învîrtitor produs de o înfășurare trifazată într-un strat, repartizată, cu două bobine pe perechea de poli.

Fie înfășurarea reprezentată în fig. 5.15, *a*, parcursă de un sistem trifazat de curenți ; în momentul t_1, notat în diagrama din fig. 5.15, *j*, curenții prin înfășurări au sensurile indicate în fig. 5.15, *b* pentru prima fază, în fig. 5.15, *d* pentru a doua fază și în fig. 5.15, *f*, pentru a treia fază. Sensul curenților, la momentul t_1 în laturile bobinelor înfășurării este reprezentat în fig. 5.15, *i*.

Curbele cîmpurilor magnetice pe care le-ar produce curenții care străbat înfășurările fazelor sînt reprezentate corespunzător în fig. 5.15, *c*, *e*, *g*, iar curba cîmpului rezultat în întrefier, obținută prin însumarea celor trei cîmpuri în fiecare punct, este reprezentată în fig. 5.15, *h*. Valoarea cîmpului magnetic produs de înfășurări este proporțională cu valoarea curentului care străbate înfășurările în momentul considerat ; înfășurarea fiecărei faze, fiind tetrapolară, produce un cîmp tetrapolar ; cîmpul magnetic rezultant, produs de sistemul de curenți care parcurge înfășurarea, este de asemenea tetrapolar și are amplitudinea constantă.

La alt moment t_2, curbele cîmpurilor magnetice produse de cele trei înfășurări se modifică corespunzător variației curentului, iar cîmpul magnetic rezultant își menține constantă amplitudinea, însă deplasată în sensul succesiunii fazelor (în figura considerată, spre dreapta). Datorită faptului că înfășurările fazelor sînt parcurse de curenți variabili în timp și deplasarea curbei cîmpului magnetic rezultant în întrefierul mașinii este continuă în timp. Viteza de rotație a acestui cîmp față de armătura pe care se află înfășurările care îl produc, depinde de frecvența de variație a curenților care parcurg înfășurările și de numărul de perechi de poli ai acestora și se exprimă prin relația :

$$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ [rot/min]} \tag{5.3}$$

în care n_1 este viteza relativă de rotație a cîmpului învîrtitor față de armătura pe care sînt dispuse înfășurările care l-au produs, f este

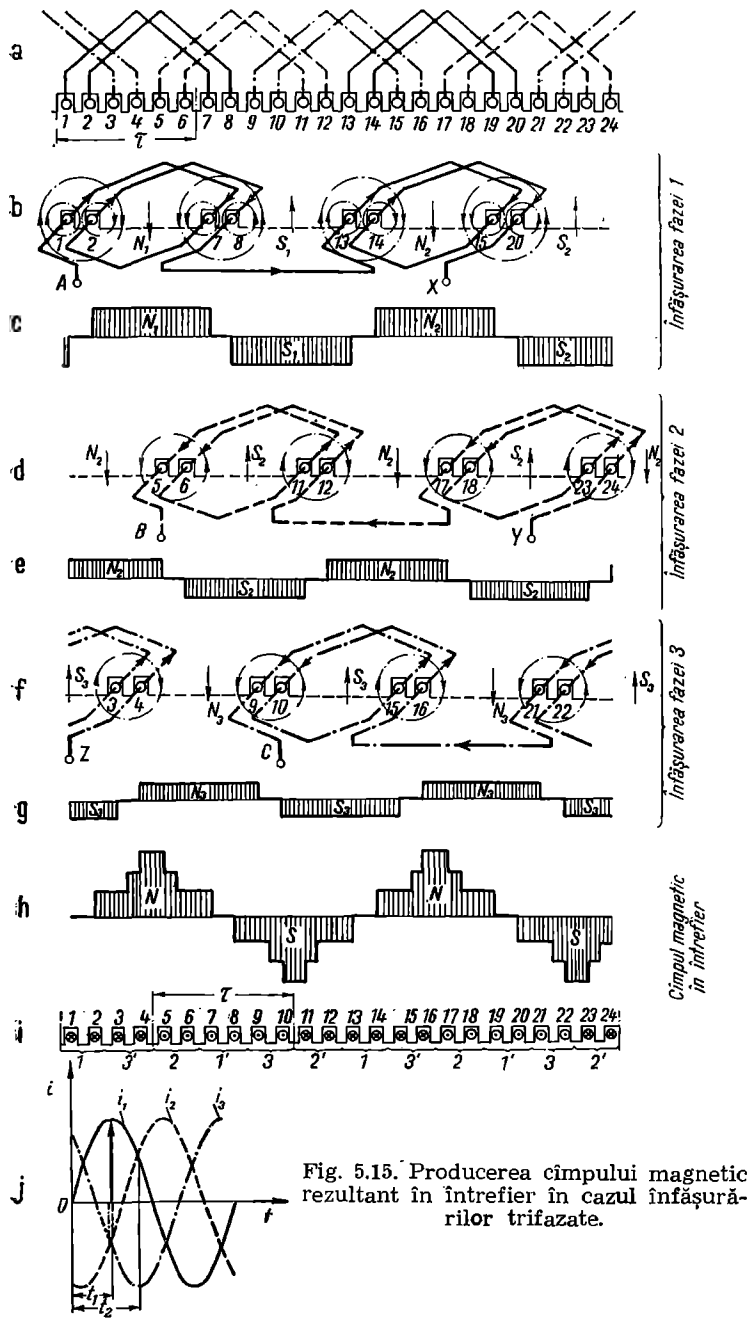


Fig. 5.15. Producerea cîmpului magnetic rezultant în întrefier în cazul înfășurărilor trifazate.

frecvența de variație a curenților care parcurg înfășurările (numărul de perioade într-o secundă), iar p numărul de perechi de poli ai înfășurării.

În cele ce urmează, în toate schemele desfășurate se vor nota sensurile curenților prin înfășurările fazelor, corespunzătoare momentului t_2 din diagrama din fig. 5.30, *j*. Astfel, considerînd înfășurările alimentate pe la bornele *A*, *B* și *C*, curenții în înfășurările *A*—*X* și *B*—*Y* vor avea sensul pozitiv (de la rețea prin borna *A*, respectiv *B* spre borna *X*, respectiv Y), iar curentul prin înfășurarea *C*—*Z* va avea sensul negativ (de la borna *Z* spre borna *C*).

b. *Calea de curent*

La înfășurările de curent alternativ calea de curent este definită în raport ou înfășurarea de fază și reprezintă porțiunea de înfășurare distinctă cuprinsă între bornele unei înfășurări a fazei. Dacă bobinele care compun înfășurarea unei faze sînt legate în serie, înfășurarea respectivă are o singură cale de curent, chiar dacă bobinele înfășurării sînt executate cu mai multe conductoare în paralel.

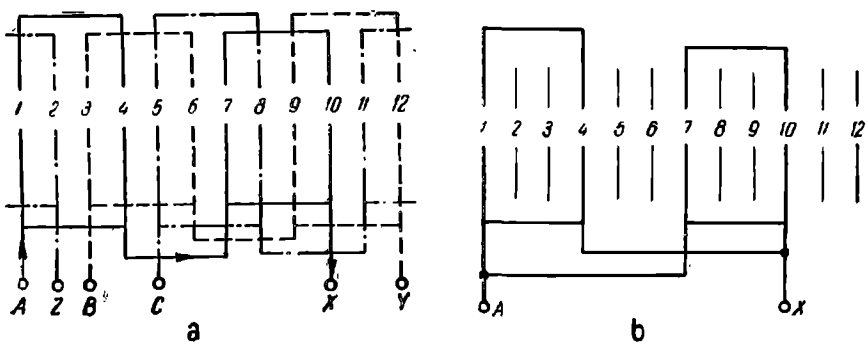


Fig. 5.16. Înfășurare trifazată, tetrapolară (Z=12 crestături) :
a — cu o cale de curent pe fază; *b* — înfășurarea *A*—*X* cu două căi de curent.

Mai multe *căi de curent* pe fază se pot obține *prin legarea în paralel* a bobinelor sau grupelor de bobine, ale înfășurării fazei respective ; tensiunile induse în căile de curent conectate în paralel, trebuie să fie egale și în fază pentru a nu apărea curenți de circulație între diferitele căi. În fig. 5.16, *a* s-a reprezentat schema desfășurată a

unei înfășurări trifazate cu o cale de curent iar în fig. 5.16, *b* s-a reprezentat înfășurarea *A—X*, a aceleiași înfășurări, cu două căi de curent.

Numărul de spire al înfășurării unei faze este identic egal cu numărul de spire al unei căi de curent. În exemplul considerat în fig. 5.16, *a* înfășurarea fiecărei faze cu w spire are $w/2$ spire pe fiecare din bobinele legate în serie. Executînd aceeași înfășurare cu două căi de curent (fig. 5.16, *b*), înfășurarea fiecărei căi va fi constituită din cîte o bobină; în acest caz fiecare bobină va conține w spire. În primul caz tensiunea electromotoare se va induce într-o înfășurare constituită din w spire legate în serie, iar în al doilea caz, în două înfășurări legate în paralel, fiecare înfășurare fiind constituită din w spire. În ultimul caz, pentru ca tensiunile electromotoare induse în cele două înfășurări legate în paralel, să fie în fază, trebuie ca cele două bobine din care sînt constituite înfășurările să ocupe poziții identice în cîmp. În exemplul considerat, înfășurarea fiind tetrapolară crestăturile *7* (respectiv *10*) sînt decalate cu un dublu pas polar față de crestăturile *1* (respectiv *4*), adică sînt situate în cîmpul magnetic în condiții identice; în consecință bobinele *1—4* și *7—10* pot fi legate în paralel prin conectarea împreună a începuturilor *1* și *7*, respectiv a sfîrșiturilor *4* și *10*, spre a forma două căi de curent.

La înfășurările cu un număr mai mare de poli, bobinele sau grupele de bobine care se leagă în serie în calea de curent sînt decalate relativ între ele cu un multiplu întreg al pasului polar, iar legăturile succesive se fac sfîrșit cu început pentru bobinele decalate cu un multiplu par al pasului polar și respectiv sfîrșit cu sfîrșit pentru bobinele decalate cu un multiplu impar.

În cazul înfășurărilor într-un strat, constituite din p sau $2p$ grupe identice de bobine, numărul maxim de căi de curent în paralel pe fază este egal cu p, cu excepția înfășurărilor constituite din grupe identice de bobine concentrice cu număr par de bobine în grupă, la care numărul maxim posibil de căi de curent poate fi egal cu $2p$.

La înfășurările în două straturi constituite din $2p$ grupe identice de bobine, numărul maxim posibil de căi de curent este egal cu $2p$.

În continuare se notează cu a numărul de căi de curent în paralel pe fază (spre deosebire de înfășurările tip indus de curent continuu la care se notează cu a numărul perechilor de căi de curent).

Secțiunea conductorului căii de curent la o înfășurare cu a căi de curent în paralel pe fază, este de a ori mai mică decît secțiunea

corespunzătoare a conductorului aceleiași înfășurări executată cu o singură cale de curent.

Dacă curentul pe calea de curent este mare, conductorul înfășurării se divide pentru ca înfășurarea să fie ușor de executat, iar pierderile suplimentare să fie reduse. Se notează cu n_p numărul de conductoare elementare pe calea de curent. Secțiunea conductorului elementar este de n_p ori mai mică decît secțiunea conductorului pe calea de curent.

Cînd numărul de căi de curent se schimbă într-un anumit raport la o aceeași înfășurare (cu același număr de spire, același număr de faze, același număr de poli, același număr de crestături și aceeași secțiune a conductorului elementar), numărul de conductoare în paralel pe calea de curent se schimbă în raport invers.

În asemenea cazuri numărul de spire pe fază și numărul de conductoare din crestătură rămîne neschimbat, dar execuția înfășurării este diferită de la o variantă la alta. De exemplu, o înfășurare cu șase căi de curent și un singur conductor pe calea de curent, poate fi executată fie în varianta cu trei căi de curent și două conductoare în paralel pe calea de curent, fie în varianta cu două căi de curent și trei conductoare în paralel pe calea de curent; în primul caz bobinele se execută cu un singur conductor, în al doilea cu două conductoare în paralel și în al treilea caz cu trei conductoare în paralel, iar numărul de spire dintr-o bobină, va fi de două ori mai mic în cazul al doilea și de trei ori mai mic în cazul al treilea, față de primul caz.

c. *Reprezentarea înfășurărilor de curent alternativ. Scheme de conexiuni*

Înfășurările de curent alternativ pot fi reprezentate desfășurat (fig. 5.17, *a*); în practică se utilizează însă reprezentări mai simple de executat și de urmărit. Astfel, înfășurările se reprezintă fie după schema electrică desfășurată (fig. 5.17, *b*), fie după scheme circulare (fig. 5.18).

În continuare se reprezintă înfășurările după schemele lor electrice (fig. 5.17, *b*).

Conform STAS 3520-52 extremitățile sau capetele de legătură ale înfășurărilor statoarelor se notează astfel: începutul primei faze cu *A*, iar sfîrșitul cu *X*, începutul fazei a doua cu *B*, iar sfîrșitul cu *Y* și începutul fazei a treia cu *C*, iar sfîrșitul cu *Z*. În cazul rotoarelor înfășurările se notează în mod identic însă cu litere mici *a—x*; *b—y* și *c—z*.

Înfășurările fazelor la mașinile de curent alternativ se reprezintă simplificat printr-o linie în zig-zag, ca în fig. 5.19.

Schema de conexiuni folosită la înfășurările bifazate este schema în stea fig. 5.20, *a* și *d*; la înfășurările trifazate se întîlnesc: schema de conexiuni stea (fig. 5.20, *b*, *e*) și schema de conexiuni triunghi (fig. 5.20, c, *f*).

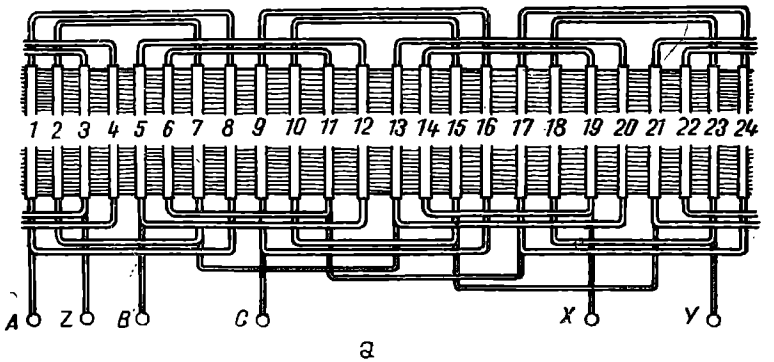


Fig. 5.17. Înfășurare trifazată, tetrapolară (Z=24 crestături):
a — reprezentarea desfășurată a înfășurării; *b* — schema electrică desfășurată.

Tensiunile și curenții, în cazul celor două scheme de conexiuni, se repartizează ca în fig. 5.21 pentru conexiunea stea, respectiv ca în fig. 5.22 pentru conexiunea triunghi.

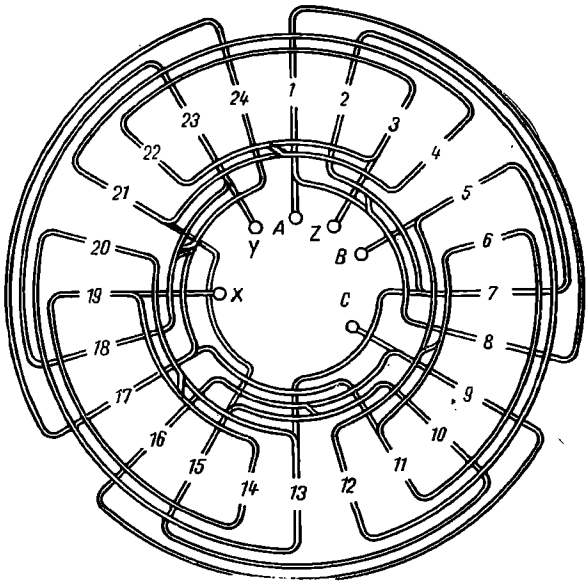


Fig. 5.18. Schema circulară a înfășurării din fig. 5.17, *a*.

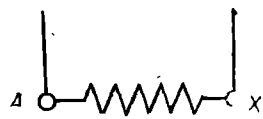


Fig. 5.19. Reprezentarea înfășurării de fază în schemele electrice.

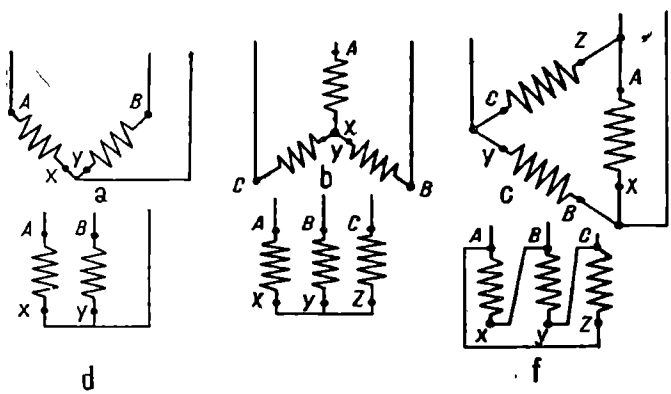


Fig. 5.20. Schemele de conexiuni ale înfășurărilor bifazate și trifazate :

a, d — înfășurare bifazată; *b, e* — înfășurare trifazată în stea; *c, f* — înfășurare trifazată în triunghi.

Valorile tensiunilor U_f la bornele înfășurărilor fazelor și valorile curenților I_f care străbat aceste înfășurări, în funcție de valorile corespunzătoare U_l și I_l de linie, se calculează cu relațiile :

— pentru conexiunea stea (fig. 5.21) :

$$U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}} \approx 0{,}58\, U_l \quad \text{și} \quad I_f = I_l ; \qquad (5.4) \text{ și } (5.5)$$

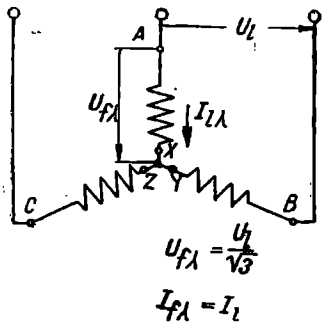


Fig. 5.21. Mărimi de fază și de linie la înfășurarea conectată în stea.

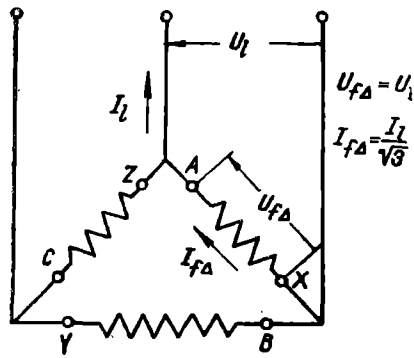


Fig. 5.22. Mărimi de fază și de linie la înfășurarea conectată în triunghi.

— pentru conexiunea triunghi (fig. 5.22) :

$$U_f = U_l \quad \text{și} \quad I_f = \frac{I_l}{\sqrt{3}} \approx 0{,}58\, I_l . \qquad (5.6) \text{ și } (5.7)$$

d. *Condiții pe care trebuie să le îndeplinească înfășurările*

Înfășurările de curent alternativ polifazate se realizează ca înfășurări simetrice. O înfășurare este simetrică, atunci cînd tensiunile electromotoare induse de cîmpul magnetic învîrtitor în înfășurările fazelor sînt egale și defazate între ele cu unghiul $\frac{2\pi}{m}$ (m fiind numărul de faze).

Se obțin înfășurări polifazate simetrice dacă înfășurările fazelor succesive sînt decalate relativ între ele, la periferia armăturii în care sînt dispuse, cu $\frac{Z}{mp}$ crestături și au același număr de spire. În cazul înfășurărilor bifazate decalajul corespunzător dintre înfășurările faze-

lor succesive este $\frac{Z}{4p}$ crestături iar la înfășurările trifazate, înfășurările de fază sînt decalate succesiv cu $\frac{Z}{3p}$ crestături.

La înfășurările executate cu mai multe conductoare în paralel pe calea de curent, conductoarele elementare trebuie să aibă aceeași secțiune, deoarece curentul pe calea de curent se repartizează aproape în mod egal prin conductoarele în paralel. În consecință, conductoarele cu secțiune mai mică sînt mai solicitate termic în timpul funcționării decît restul conductoarelor, periclitînd astfel întreaga înfășurare.

e. *Numerele de spire, de conductoare în crestătură și de bobine ale înfășurării*

Valoarea efectivă a tensiunii electromotoare pe fază indusă într-o cale de curent, este dată de relația :

$$E = 4{,}44 \cdot f \cdot w \cdot k_w \cdot \Phi. \tag{5.8}$$

Cunoscînd valoarea efectivă a tensiunii electromotoare E pe fază, frecvența f a tensiunii, factorul de înfășurare k_w și valoarea fluxului polar Φ, din relația (5.8) se calculează numărul de spire w ale fiecărei căi de curent după relația

$$w = \frac{E}{4{,}44 \cdot f \cdot k_w \cdot \Phi}. \tag{5.9}$$

Fiecare spiră are două conductoare active ; numărul de conductoare N_a pe o cale de curent este egal cu produsul dintre dublul numărului de spire și numărul de conductoare în paralel, adică

$$N_a = 2w \cdot n_p. \tag{5.10}$$

Numărul total de conductoare active N_t ale unei înfășurări cu m faze, în cazul în care fiecare înfășurare a fazei are a căi de curent, este

$$N_t = 2m \cdot a \cdot w \cdot n_p. \tag{5.11}$$

Numărul de conductoare active N_c care se introduc în fiecare crestătură a miezului magnetic, se determină împărțind numărul total de conductoare N_t la numărul total Z_b de crestături bobinate, adică

$$N_c = \frac{N_t}{Z_b} = \frac{2m \cdot a \cdot w \cdot n_p}{Z_b} \tag{5.12}$$

Prin urmare, numărul de conductoare N_t trebuie să se împartă exact la numărul de crestături Z_b.

Numărul de conductoare active N_c dintr-o crestătură poate aparține unei singure laturi de bobină sau la mai multe laturi de bobine; uzual la înfășurările într-un strat în crestătură se așază o singură latură de bobină, iar la înfășurările în două straturi se așază în crestătură cîte două laturi. În consecință la înfășurările într-un strat numărul de bobine este egal cu jumătate din numărul crestăturilor bobinate, iar la cele în două straturi este egal cu numărul de crestături.

f. *Numărul de crestături pe pol și fază, clasificarea înfășurărilor*

Numărul de crestături pe pol și fază se notează cu q și reprezintă raportul dintre numărul total de crestături Z și produsul numărului de poli $2p$ prin numărul de faze m

$$q = \frac{Z}{2pm}. \tag{5.13}$$

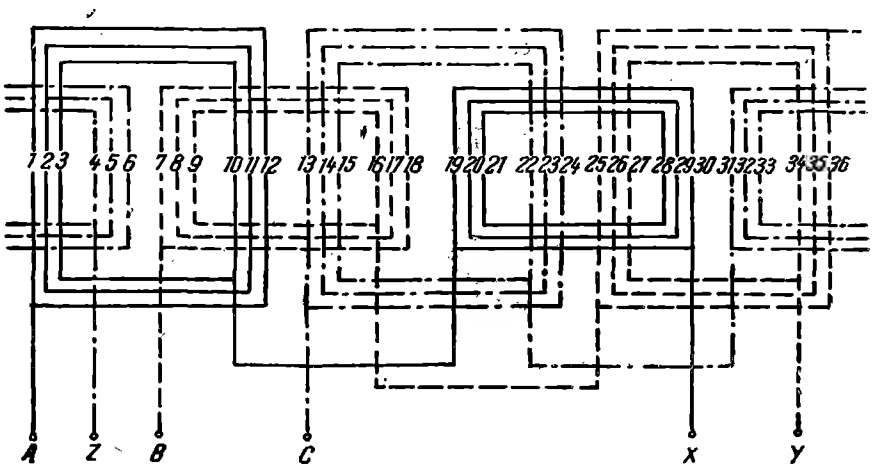


Fig. 5.23. Schema desfășurată a unei înfășurări trifazate, tetrapolare, cu număr întreg de crestături pe pol și fază (q=3).

Înfășurările la care numărul de crestături pe pol și fază q este un număr întreg sînt denumite *înfășurări cu număr întreg de crestături pe pol de fază*, iar cele cu q fracționar sînt denumite *înfășurări cu nu-*

măr fracționar de crestături pe pol și fază. În fig. 5.23 și fig. 5.24 sînt reprezentate schemele desfășurate ale unor înfășurări cu q întreg, respectiv cu q fracționar.

Mașinile cu un anumit număr de crestături libere (fără înfășurare) prezintă de asemenea înfășurări cu număr fracționar de crestături pe pol și fază, chiar dacă raportul q' dintre numărul crestăturilor bobinate Z_b și produsul numărului de poli $2p$ prin numărul de faze m este un număr întreg

$$q' = \frac{Z_b}{2pm}. \tag{5.14}$$

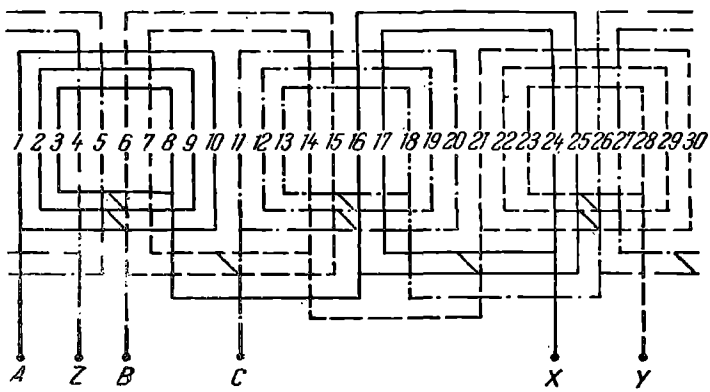


Fig. 5.24. Schema desfășurată a unei înfășurări trifazate, tetrapolare, cu număr fracționar de crestături pe pol și fază $q=2\frac{1}{2}$.

Înfășurările cu număr fracționar de crestături pe pol și fază se utilizează în scopul reducerii armonicilor, îndeosebi la mașinile cu număr mare de poli și număr redus de crestături pe pol și fază.

g. Factorul de repartizare

Înfășurările avînd $q=1$, într-un strat sau în două straturi, sînt înfășurări concentrate. Asemenea înfășurări, cu pas diametral, nu se aplică la mașinile mici, mijlocii și mari de curent alternativ datorită armonicilor mari care se produc.

Pentru diminuarea armonicilor, spirele aceleiași faze, de pe perechea de poli, se dispun repartizat în mai multe crestături vecine ; în acest scop, înfășurarea se execută cu un număr q de crestături pe pol și fază mai mare decît unitatea, iar înfășurarea este denumită înfășurare repartizată.

Tensiunea electromotoare indusă în înfășurarea repartizată este mai mică decît în cazul unei înfășurări concentrate cu aceleași caracteristici.

Ca exemplu, s-au reprezentat în fig. 5.25 înfășurări într-un strat bipolar dintre care una concentrată (cu $q=1$) în fig. 5.25, *a*, iar alta repartizată (cu $q=2$) în fig. 5.25, *b*; se consideră că înfășurările au același număr de spire pe fază, adică o bobină cu w spire în fig. 5.25, *a* și două bobine conectate în serie, cu cîte $w/2$ spire în fig. 5.25, *b*; deschiderea bobinelor s-a presupus egală cu pasul polar, înfășurările fiind în acest caz diametrale.

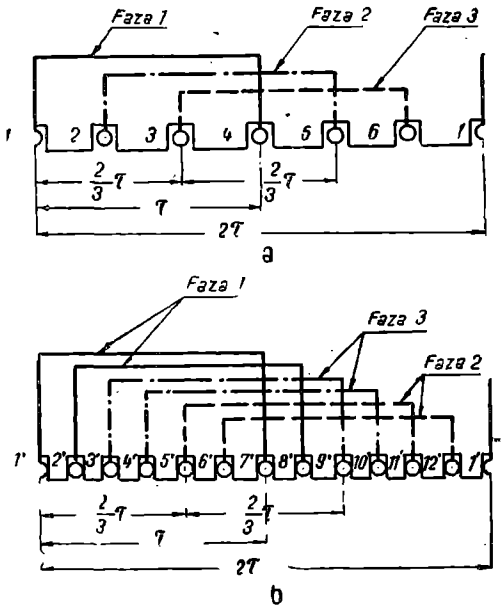


Fig. 5.25. Înfășurare trifazată, bipolară: *a* — concentrată ($q=1$); *b* — repartizată ($q=2$).

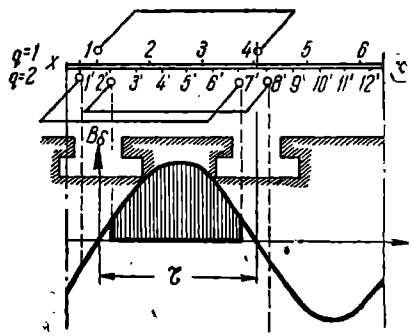


Fig. 5.26. Explicativă la factorul de repartizare.

În cazul înfășurării concentrate din fig. 5.25, *a*, din care s-a reprezentat prima fază și în fig. 5.26 (deasupra dreptei x—x'), valoarea efectivă a tensiunii electromotoare indusă de fundamentala cîmpului magnetic în cele w spire (cu deschiderea diametrală) ale înfășurării, este

$$E=4{,}44\cdot f\cdot w\cdot \Phi, \qquad (5.15\ a)$$

unde Φ este fluxul magnetic al unui pol, iar f frecvența tensiunii induse.

Înfășurarea primei faze din fig. 5.25, *b* este reprezentată și în fig. 5.26 (sub dreapta x—x'). În acest caz, bobinele așezate în crestăturile $1'$—$7'$ și $2'$—$8'$ îmbrățișează în același moment un flux Φ' maxim rezultant, proporțional cu suprafața hașurată din fig. 5.26,

mai mic decît fluxul polar Φ îmbrățișat de bobina din crestăturile *1—4* ale înfășurării echivalente concentrate din fig. 5.25, *a*.

Valoarea efectivă a tensiunii electromotoare indusă de fundamentala cîmpului magnetic în bobinele *1'—7'* și *2'—8'* (în înfășurarea repartizată a primei faze în fig. 5.25, *b*) este dată de relația

$$E' = 4{,}44 \cdot f \cdot \frac{w}{2} \Phi' + 4{,}44 \cdot f \cdot \frac{w}{2} \Phi'; \qquad (5.15\text{ b})$$

prin urmare, tensiunea electromotoare E' este mai mică decît tensiunea electromotoare E. Raportul dintre tensiunile electromotoare E indusă pe fază într-o înfășurare repartizată diametrală și tensiunea electromotoare E indusă pe fază într-o înfășurare concentrată cu același număr de spire și aceleași caracteristici (aceleași suprafețe și același cîmp magnetic), se numește factorul de repartizare al înfășurării și se notează cu k_q, adică

$$k_q = \frac{E'}{E} = \frac{\Phi'}{\Phi}. \qquad (5.16)$$

Pentru înfășurările repartizate simetric, valoarea factorului de repartizare corespunzător fundamentalei cîmpului se calculează cu formula

$$k_q = \frac{\sin \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}}, \qquad (5.17)$$

în care q este numărul de crestături pe pol și fază (conform relației 5.13), iar unghiul α este unghiul electric dintre două crestături vecine în care sînt dispuse laturi de bobine. Unghiul α se calculează împărțind 180° (unghiul corespunzător unui pas polar τ) la numărul total de crestături dintr-un pas polar (mq crestături). În cazul înfășurărilor trifazate, unghiul α se calculează cu relația

$$\alpha = \frac{180°}{3q}. \qquad (5.18)$$

Exemplu. În cazul înfășurării din fig. 5.25, *b* unghiul α este

$$\alpha = \frac{180°}{3 \cdot 2} = 30°;$$

factorul de repartizare k_q este

$$k_q = \frac{\sin \frac{2 \cdot 30°}{2}}{2 \sin \frac{30°}{2}} = \frac{\sin 30°}{2 \sin \frac{30°}{2}} = 0{,}966.$$

Pentru înfășurările trifazate, înlocuind (5.18) în (5.17), numărătorul expresiei (5.17) devine sin 30°=0,5 iar expresia (5.17) se poate scrie

$$k_q = \frac{0{,}5}{q \sin \frac{30^\circ}{q}} \cdot \quad (5.19)$$

În cazul unei armonici de ordinul ν a cîmpului magnetic, pasul polar devine τ/ν, iar unghiul α crește de ν ori (v. fig. 5.27), prin urmare factorul de repartizare corespunzător armonicii ν a cîmpului este dat de relația

$$k_{q_\nu} = \frac{\sin \frac{q\nu\alpha}{2}}{q \sin \frac{\nu\alpha}{2}} \cdot \quad (5.20)$$

Expresia (5.20) pentru $\nu=1$ (pentru fundamentală) devine (5.17).

În tabela 5.2 sînt date valorile factorului de repartizare $k_{q\nu}$ pentru fundamentală și pentru armonicile *3*, *5* și 7 la înfășurări cu număr întreg de crestături de pol și fază.

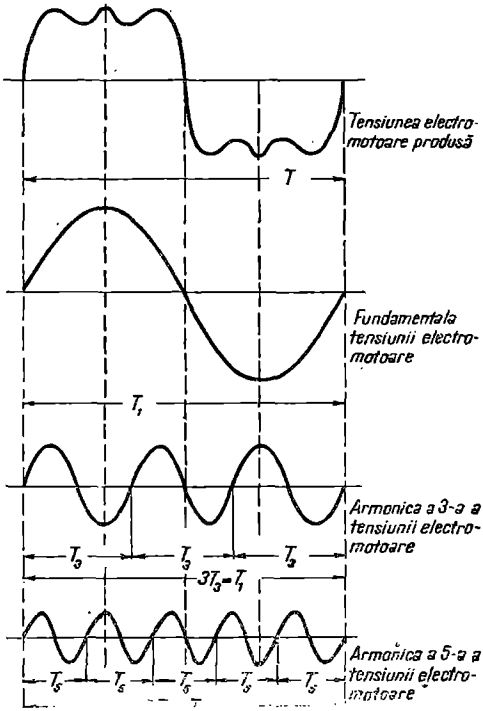


Fig. 5.27. Curba tensiunii electromotoare și curbele armonicilor componente.

Din această tabelă se constată că factorii de repartizare corespunzători armonicilor superioare sînt mai mici decît cei ai fundamentalei; prin urmare, curba tensiunii induse în înfășurarea repartizată va conține armonici mai reduse, apropiindu-se mai mult de o sinusoidă, decît curba tensiunii electromotoare induse în înfășurarea dispusă concentrat. În schimb, pentru ca tensiunea electromotoare indusă să aibă aceeași valoare efectivă, numărul de spire al înfășurării repartizate trebuie majorat de $\frac{1}{k_q}$ ori; astfel, la înfășurările repartizate, diametrale numărul de spire este dat de relația

$$w = \frac{E}{4{,}44 \cdot f \cdot \Phi \cdot k_q} \quad (5.15')$$

în care k_q reprezintă factorul de repartizare al fundamentalei dat în tabela 5.2, coloana corespunzătoare valorii $\nu = 1$.

Tabela 5.2

Factorul de repartizare $k_{q\nu}$ pentru înfășurări trifazate cu număr întreg de crestături pe pol și fază

q	Ordinul armonicilor ν			
	1 (fundamentală)	3	5	7
1	1	1	1	1
2	0,966	0,707	0,259	0,259
3	0,960	0,667	0,217	0,177
4	0,958	0,613	0,204	0,157
5	0,9575	0,646	0,200	0,152
6	0,957	0,644	0,197	0,145
8	0,955	0,636	0,191	0,136

h. *Factorul de scurtare*

Pentru diminuarea armonicilor, înfășurările de curent alternativ în două straturi se execută cu bobine al căror pas este mai scurt decît pasul polar; deoarece fluxul maxim îmbrățișat de bobină scade cu creșterea scurtării, valoarea efectivă a tensiunii electromotoare indusă de fundamentala cîmpului scade. Raportul dintre valorile efective ale tensiunii electromotoare induse în înfășurarea cu pas scurtat, respectiv cu pas diametral, se numește factor de scurtare.

S-a considerat că înfășurarea cu pas scurtat, are același număr de spire și același număr de crestături pe pol și fază, aceleași dimensiuni ale mașinii și este situată în același cîmp inductor, ca și înfășurarea cu pas diametral.

Factorul de scurtare este subunitar și se calculează pentru fundamentală cu relația

$$k_{s1} = \cos\beta = \cos\left(\frac{180^\circ}{2} \cdot \frac{\tau - y}{\tau}\right), \tag{5.21}$$

în care unghiul $\beta = \frac{180^\circ}{2} \cdot \frac{\tau - y}{\tau}$ este jumătatea unghiului corespunzător scurtării $\tau - y$.

Expresia de calcul a factorului de scurtare corespunzător armonicii de ordinul ν a cîmpului magnetic (pentru care pasul polar scade de ν ori) respectiv a tensiunii electromotoare induse este

$$k_{s\nu} = \cos\nu\beta = \cos\left(\nu\frac{180^\circ}{2} \cdot \frac{\tau - y}{\tau}\right), \tag{5.22}$$

unde ν este ordinul armonicii de tensiune (de exemplu $\nu = 1, 2, 5, 7 \ldots$).

În relația (5.21) mărimile τ și y se exprimă uzual în numere de crestături.

La înfășurările constituite din bobine cu deschidere egală, y este pasul bobinei.

La înfășurările la care se utilizează ca element constructiv de bază grupa de bobine concentrice, pasul y se calculează pe grupa de bobine printr-o medie aritmetică. Spre exemplu, pentru o grupă de trei bobine concentrice care ocupă crestăturile 1, 2, 3—9, 10, 11, pasul y va fi

$$y=\frac{y_1+y_2+y_3}{3}=\frac{(9-3)+(10-2)+(11-1)}{3}=\frac{6+8+10}{3}=8 \text{ [crestături].}$$

Diferența dintre pasul polar τ și pasul y al bobinei se numește scurtarea bobinei :

$$s=\left[\frac{Z}{2p}-y\right] \text{ [crestături].} \tag{5.23}$$

Dacă $y<\tau$, s este pozitiv iar bobina este scurtată. În cazul că $y>\tau$, s este negativ iar bobina este lungită, adică are deschiderea mai mare decît pasul polar.

Scurtarea relativă a bobinei se exprimă în procente prin relația

$$s_r=\frac{\tau-y}{\tau}100 \quad [\%]. \tag{5.24}$$

Unghiul corespunzător scurtării τ—y îl notăm cu 2β și are expresia

$$2\beta=\frac{\tau-y}{\tau}180°. \tag{5.25}$$

În tabela 5.3 sînt date scurtarea relativă și corespunzător acesteia, factorii de scurtare, pentru fundamentală și pentru armonicile 3, 5 și 7.

Tabela 5.3

Factorul de scurtare k_{sv}

Scurtarea relativă		0	0,06	0,11	0,166	0,22	0,28	0,33
	Armonica							
Factorul de scurtare pentru diferite armonici și fundamentală	1	1,000	0,996	0,935	0,966	0,940	0,903	0,866
	3	1,000	0,956	0,866	0,707	0,500	0,259	0,000
	5	1,000	0,906	0,843	0,259	0,173	0,574	0,866
	7	1,000	0,819	0,342	0,259	0,766	0,936	0,866

Din tabela 5.3 se observă că factorii de scurtare corespunzători armonicilor superioare sînt în general mai mici decît ai fundamen-

talei ; prin urmare, curba tensiunii electromotoare indusă în înfășurarea cu pas scurtat conține armonici mai reduse, apropiindu-se mai mult de o sinusoidă.

Înfășurările cu pas scurtat se execută mai ales în două straturi.

Ca înfășurări în două straturi cu pas scurtat se pot executa și înfășurările concentrate și înfășurările repartizate. Ca înfășurări într-un strat cu pas scurtat se pot executa numai înfășurările repartizate. Exemple de scheme de înfășurări într-un strat cu pas scurtat sînt reprezentate în fig. 5.42, 5.43 și 5.50.

Înfășurările cu pas scurtat îmbunătățesc forma curbei tensiunii electromotoare induse și asigură o anumită economie de material, pînă la o anumită valoare a scurtării. În practică, înfășurările în două straturi cu pas scurtat sînt foarte răspîndite ; ele necesită pentru aceeași deschidere a bobinelor mai puțin material conductor decît înfășurările similare într-un strat.

În fig. 5.28 se poate observa efectul scurtării pasului bobinei asupra reducerii armonicelor de ordinele 3 și 5 ale tensiunii induse.

În fig. 5.28, *a* s-a reprezentat curba cîmpului magnetic din întrefierul mașinii, conținînd fundamentala B_{δ_1} și armonicile B_{δ_3} și B_{δ_5} din fig. 5.28, *b*. În fig. 5.28, *c* s-a reprezentat schematic o bobină cu pas diametral, în fig. 5.27, *d*, o bobină avînd pasul scurtat la $\frac{2\tau}{3}$, iar în fig. 5.28, *e*, o bobină avînd pasul scurtat la $\frac{4\tau}{5}$.

Din fig. 5.28, *d* rezultă că fluxul armonicii 3 îmbrățișat de bobina avînd deschiderea $\frac{2\tau}{3}$ este nul și ca urmare se anulează și armonica 3 din tensiunea electromotoare. Totodată scade și fluxul fundamental îmbrățișat de bobină, care este proporțional cu conturul trasat îngroșat și ca urmare scade și fundamentala tensiunii electromo-

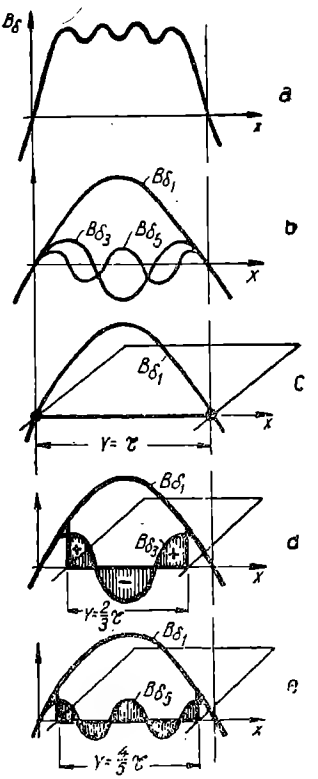


Fig. 5.28. Explicativă la factorul de scurtare ; scurtarea pasului bobinei și anularea armonicilor 3 și 5 ale fluxului (respectiv ale tensiunii electromotoare).

toare indusă în bobină. La fel se întîmplă și cu armonica 5, în cazul considerat în fig. 5.28, *e*.

La înfășurările cu pas scurtat, tensiunea electromotoare indusă în înfășurare se obține înmulțind factorul de scurtare al pasului k_s cu tensiunea electromotoare care se induce în aceleași condiții într-o înfășurare cu pas diametral, cu același număr de spire și cu aceeași repartizare în crestături a laturilor de bobine, adică

$$E_s = E_d \cdot k_s = E_d \cos\left(\frac{180^\circ}{2} \cdot \frac{\tau - y}{\tau}\right). \qquad (5.26)$$

Pentru armonicile de ordinul ν ale tensiunii electromotoare această relație devine

$$E_{s\nu} = E_{d\nu} \cdot k_{s\nu} = E_{d\nu} \cdot \cos\left(\nu \frac{180^\circ}{2} \cdot \frac{\tau - y}{\tau}\right), \quad (\nu = 1, 3, 5, 7 \ldots .). \qquad (5.27)$$

1. *Factorul de înfășurare*

În general, înfășurările de curent alternativ se execută ca înfășurări repartizate într-un strat sau în două straturi, la care bobinele pot avea pas diametral, sau pas scurtat sau pași diferiți pe grupa de bobine, în funcție de caracteristicile schemei înfășurării la alegerea căreia s-a avut în vedere și diminuarea armonicilor.

Tensiunea electromotoare indusă în aceste înfășurări repartizate și cu pas scurtat (pentru toate bobinele sau numai pentru o parte din bobine) este mai mică decît tensiunea electromotoare indusă în înfășurările cu pas diametral, respectiv în înfășurările concentrate cu pas scurtat.

Raportul dintre fundamentala tensiunii electromotoare indusă în înfășurarea reală și fundamentala tensiunii electromotoare indusă în aceeași înfășurare executată ca înfășurare concentrată cu pas diametral este denumit factorul de înfășurare și se notează cu k_{w1}. În mod asemănător se definește și factorul de înfășurare al armonicilor. Valoarea acestui factor este subunitară. La un număr mare de înfășurări, factorul de înfășurare al fundamentalei este cuprins între 0,9 și 1, iar factorii de înfășurare ai armonicilor coboară pînă la zero.

La cele mai multe tipuri de înfășurări, factorul de înfășurare $k_{w\nu}$ este egal cu produsul factorilor de repartizare $k_{q\nu}$ și de scurtare $k_{s\nu}$, adică

$$k_{w\nu} = k_{q\nu} \cdot k_{s\nu}; \qquad (5.28)$$

valorile factorilor $k_{q\nu}$ și $k_{s\nu}$ se calculează după relațiile 5.20 și 5.22.

Factorul de înfășurare pentru diferitele tipuri de înfășurări se calculează după indicațiile prezentate în tabela 5.4.

Tabela 5.4

Calculul factorului de înfășurare la înfășurările trifazate

Tipul de înfășurare	Expresia de calcul a factorului de înfășurare	Observații
1	2	3
A. Înfășurări cu 6 zone		
1. Înfășurări concentrate, diametrale	$k_w = 1$	
2. Înfășurări concentrate, în două straturi, cu pas scurtat	$k_w = k_s$	relația 5.22
3. Înfășurări repartizate cu pasul mediu pe grupa de bobine, diametral	$k_w = k_q$	relația 5.20
4. Înfășurări repartizate, în două straturi, cu pas scurtat	$k_w = k_q \cdot k_s$	relațiile 5.20 și 5.22
5. Înfășurări repartizate, într-un strat (grupa de cîte $q/2$ bobine)	$k_w = k_{q/2} \cdot k_s$	relațiile 5.20 (în care se ia $q/2$ în loc de q) și 5.22
6. Înfășurări repartizate, într-un strat, în lanț, cu q par	$k_w = k_{q/2,\,2\alpha} \cdot k_s$	relațiile 5.20 (în care se ia $q/2$ în loc de q și 2α în loc de α) și 5.22
B. Înfășurări cu 3 zone		
7. Înfășurări repartizate în două straturi (grupa de $2q$ bobine)	$k_w = k_{2q} \cdot k_s$	relațiile 5.20 (în care se ia $2q$ în loc de q) și 5.22
C. Înfășurări cu q fracționar (pentru p diferit de 3 și multiplu de 3, fără intercalare faze)		
8. Înfășurări într-un strat pentru p impar	$k_w = k_{pq}$	relația 5.20 (în care se ia pq în loc de q, iar $\alpha = \frac{360°}{z}$)
9. Înfășurări într-un strat pentru p par	$k_w = k_{bq} \cdot k_d$	relația 5.20 (în care în loc de $q = \frac{a}{b}$ se ia bq; în loc de α se ia $\frac{\alpha}{b}$ iar $k_d = \cos\frac{\alpha}{b}$
10. Înfășurări în două straturi	$k_w = k_{bq} \cdot k_s$	în care k_{bq} se calculează la fel ca la pct. 9 iar k_s după relația 5.21.

5.2.3. Înfășurările de curent alternativ într-un strat. Definiție, număr de bobine, clasificări

Înfășurările constituite din bobine a căror laturi ocupă fiecare cîte o crestătură se numesc înfășurări într-un strat.

În funcție de numărul crestăturilor Z, numărul total de bobine N_b ale înfășurării într-un strat este

$$N_b = \frac{Z}{2}, \tag{5.29}$$

iar numărul de bobine din înfășurarea unei faze

$$N_{bf} = \frac{N_b}{m} = \frac{Z}{2m}, \tag{5.30 a}$$

m fiind numărul de faze.

Numerele N_b și N_{bf} se pot exprima în funcție de numărul de poli $2p$, de crestăturile pe pol și fază q și numărul de faze m, prin relațiile :

$$N_b = \frac{2pqm}{2} = pqm; \tag{5.31}$$

$$N_{bf} = \frac{2pqm}{2m} = pq. \tag{5.32}$$

Deoarece numărul de bobine pe fază N_{bf} trebuie să fie un număr întreg, la înfășurările într-un strat produsul pq trebuie să fie număr întreg. Prin urmare, numărul de crestături pe pol și fază poate fi un număr întreg sau un număr fracționar ; de exemplu, la $p=2$, q poate lua valorile 1, $1^1/_2$; 2, $2^1/_2$; 3, $3^1/_2$ etc. ; la $p=3$, q poate lua valorile 1, $1^1/_3$, $1^2/_3$, 2, $2^1/_3$, $2^2/_3$ etc.

Dacă la rebobinarea unei mașini, cînd se schimbă tipul de înfășurare sau cînd se folosește o tolă ștanțată existentă și $\frac{Z}{2m}$ nu este un număr întreg, înfășurarea se poate executa într-un strat, lăsînd libere un anumit număr de crestături astfel ca raportul

$$\frac{Z_b}{2m} = N_{bf} = \text{număr întreg}, \tag{5.30 b}$$

în care Z_b este numărul crestăturilor bobinate.

La execuția înfășurărilor într-un strat se utilizează ca elemente constructive de bază ale înfășurării, bobina și grupa de bobine. Semispira și grupa de semispire se utilizează mai rar.

La înfășurările într-un strat, părțile frontale ale elementelor constructive de bază se dispun, de o parte și de alta a miezului magnetic, în etaje sau în coroane.

După modul în care se dispun între ele părțile frontale ale bobinelor sau grupelor de bobine, se deosebesc următoarele tipuri de înfășurări trifazate într-un strat :

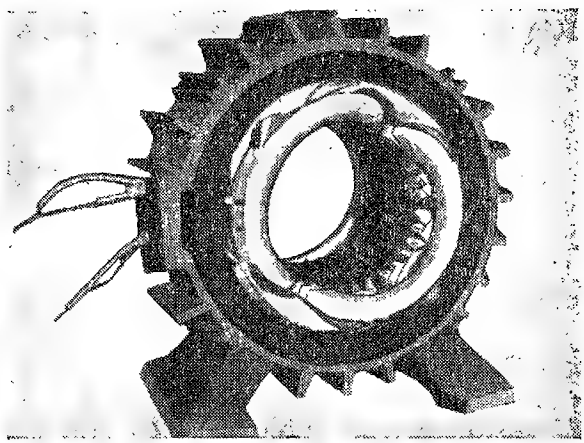


Fig. 5.29. Fotografia unei înfășurări trifazate, în trei etaje, avînd : $Z=36$; $2p=2$; $q=6$.

1. Înfășurări în trei etaje, acestea sînt constituite, pentru q par, din $2pm$ grupe de bobine, avînd fiecare cîte $q/2$ bobine, unde m este numărul de faze, p numărul de perechi de poli și q numărul de crestături pe pol și fază, ale înfășurării (fig. 5.29).

2. Înfășurările în două etaje sînt constituite, pentru q întreg din pm grupe de bobine, fiecare grupă avînd q bobine (fig. 5.30).

3. Înfășurări în coroană de grupe de bobine concentrice avînd $2pm$ grupe cu $q/2$ bobine în grupă pentru q par (fig. 5.31).

4. Înfășurări în coroana de grupe de bobine egale, avînd $2pm$ grupe și $q/2$ bobine în grupă pentru q par (fig. 5.32).

5. Înfășurări în coroana de grupe de bobine concentrice, avînd pm grupe cu q bobine în grupă pentru q întreg (fig. 5.33).

6. Înfășurări în coroană de grupe de bobină egale, avînd pm grupe cu q bobine în grupă pentru q întreg (fig. 5.34).

7. Înfășurări în coroană de bobine egale (fig. 5.35), denumite și înfășurări în lanț. La acestea, pasul bobinelor exprimat în număr de crestături este impar.

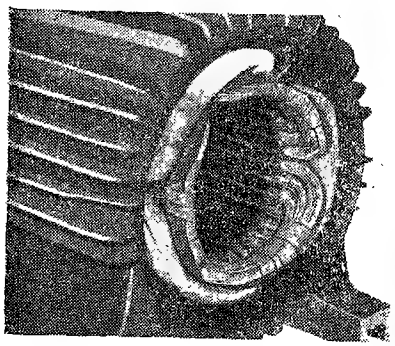


Fig. 5.30. Fotografia unei înfășurări trifazate, în două etaje, avînd : $Z=36$; $2p=4$; $q=3$.

Fig. 5.31. Fotografia unei înfășurări trifazate, în coroană de grupe de bobine concentrice, avînd : $Z=72$; $2p=6$; $q=4$.

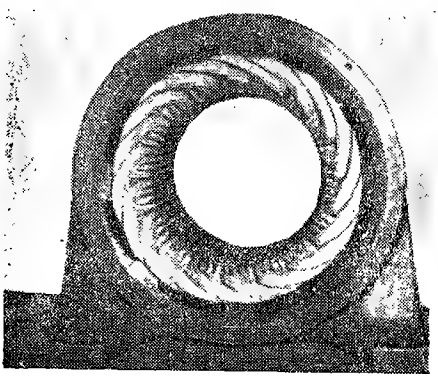


Fig. 5.32. Fotografia unei înfășurări în coroană de grupe pe bobine egale avînd $q=4$.

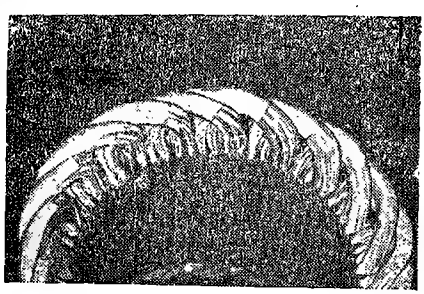


Fig. 5.33. Fotografia unei înfășurări trifazate, în coroană de grupe de bobine concentrice avînd $q=2$.

Fig. 5.34. Fotografia unei înfășurări trifazate, în coroană de grupe de bobine egale, având : $Z=48$; $2p=6$; $q=3$.

Fig. 5.35. Fotografia unei înfășurări trifazate, în coroană de bobine egale (în lanț) având : $Z=24$; $2p=2$; $q=4$.

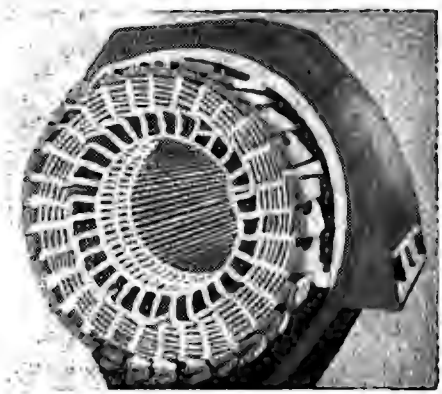


Fig. 5.36. Fotografia unei înfășurări trifazate, în evolventă având părțile frontale dispuse în două plane perpendiculare pe axul de rotație, cu $Z=60$; $2p=4$; $q=5$.

8. Înfășurări în evolventă, care au părțile frontale ale bobinelor componente dispuse în două (sau un multiplu întreg de două) plane perpendiculare pe axul de rotație al mașinii ; uneori părțile frontale ale bobinelor componente sînt dispuse față de axul mașinii după două (sau m multiplu de două) suprafețe conice (fig. 5.36).

9. Înfășurări pentru indusuri secționate ; acestea au o dispunere special grupată în părțile frontale, în trei etaje sau în coroană de grupe de bobine egale (fig. 5.37).

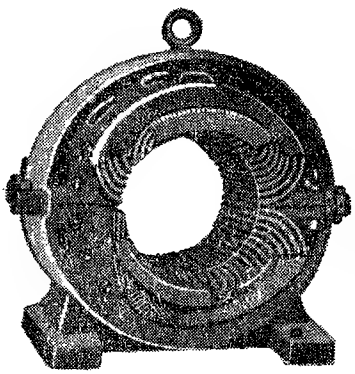


Fig. 5.37. Fotografia unei înfășurări trifazate, pentru indus secționat cu dispunere grupată în trei etaje, avînd : $Z=60$; $2p=4$; $q=5$.

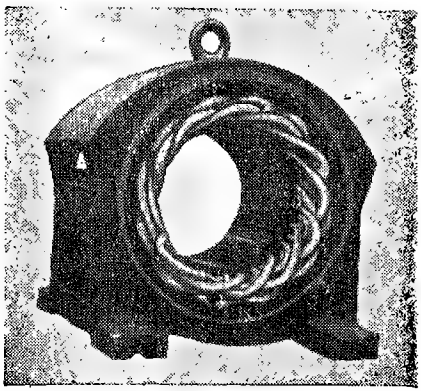


Fig. 5.38. Fotografia unei înfășurări trifazate în două coroane avînd : $Z=48$; $2p=4$; $q=4$.

10. Înfășurări din bobine egale, cu părțile frontale în două coroane formate după suprafețe conice coaxiale (fig. 5.38).

La înfășurările într-un strat cu număr fracționar de crestături pe pol și fază, grupele nu au toate același număr de bobine.

Înfășurările trifazate într-un strat pot fi cu șase zone sau cu intercalarea fazelor după cum laturile bobinelor ce aparțin fazei pe pol sînt dispuse în crestături alăturate sau intercalate.

a. *Înfășurări cu șase zone*

Înfășurările într-un strat cu șase zone sînt înfășurări trifazate cu număr întreg de crestături pe pol și fază, la care laturile de bobine ce aparțin fazei pe pol sînt dispuse în crestături alăturate. La aceste înfășurări revin *șase grupe de laturi de bobine pe perechea de poli,*

de unde și denumirea de înfășurări cu șase zone ; grupe de laturi de bobine de ducere alternează cu grupe de laturi de bobine de întoarcere.

a. 1. Înfășurări în trei etaje

Înfășurările în trei etaje sînt înfășurări trifazate într-un strat, la care părțile frontale ale bobinelor sau grupelor de bobine se dispun fie după trei plane perpendiculare pe axul mașinii așa cum se arată în fig. 5.39, *a*, fie după suprafețe perpendiculare, conice sau cilindrice față de axul mașinii, așa cum se arată în fig. 5.39, *b* și c.

Înfășurările în trei etaje se utilizează îndeosebi la mașinile electrice bipolare, motoare și generatoare. Ele sînt constituite, la înfășurările cu q par, din $2pm$ grupe de bobine, fiecare grupă avînd $q/2$ bobine. O treime din numărul grupelor, adică $2p$ grupe, revin înfășurării

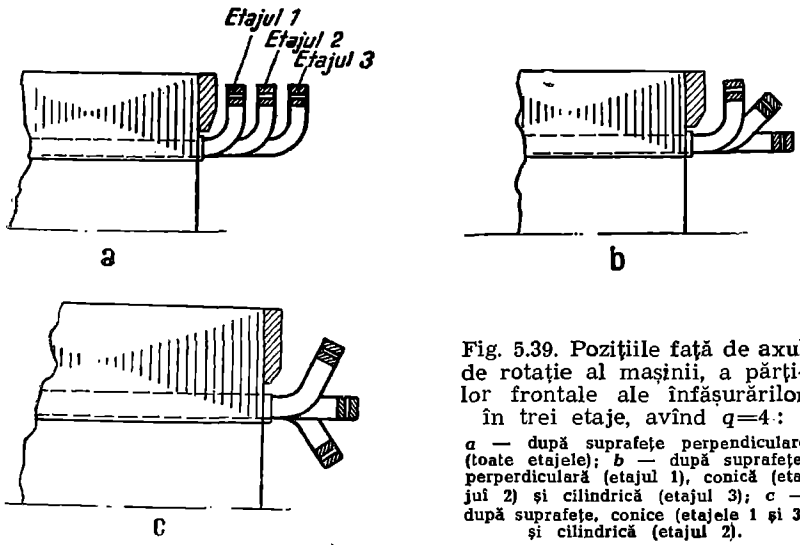


Fig. 5.39. Pozițiile față de axul de rotație al mașinii, a părților frontale ale înfășurărilor în trei etaje, avînd $q=4$:
a — după suprafețe perpendiculare (toate etajele); *b* — după suprafețe, perperdiculară (etajul 1), conică (etajul 2) și cilindrică (etajul 3); *c* — după suprafețe, conice (etajele 1 și 3) și cilindrică (etajul 2).

unei faze, iar părțile lor frontale se dispun, de o parte și de alta a miezului magnetic, în același etaj. Grupele succesive de bobine ce aparțin aceleiași faze, sînt decalate între ele cu un pas polar τ, respectiv cu $\frac{Z}{2p}$ crestături, adică au simultan polaritate opusă. Din această cauză, în schema de legături pentru obținerea înfășurării fazei cu o singură cale de curent, la înfășurările în trei etaje, grupele de bobine se leagă alternativ între ele : sfîrșit cu sfîrșit, început cu început și așa mai

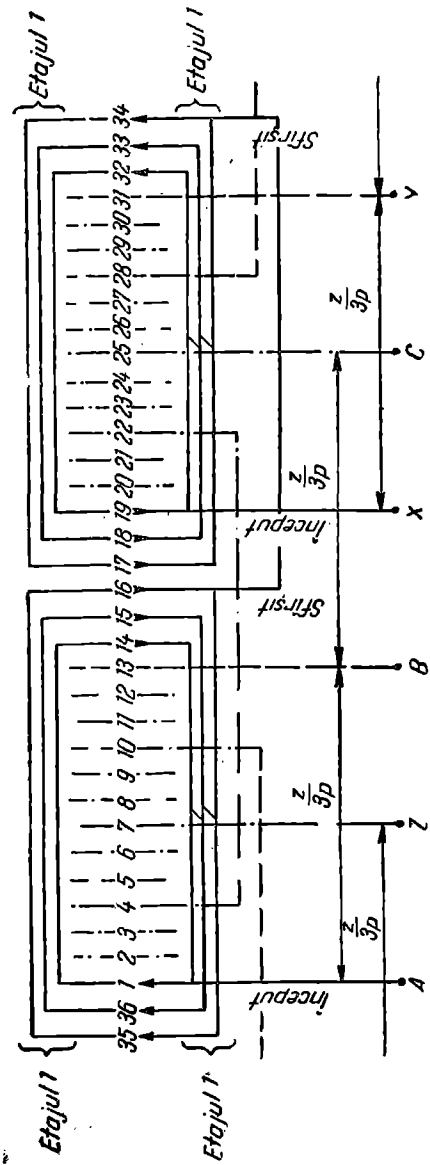


Fig. 5.40. Schema desfășurată a înfășurării $A—X$ și reprezentarea capetelor de legătură și a legăturilor dintre grupele de bobine ale înfășurărilor celorlalte faze; înfășurarea are: $Z=36$, $2p=2$, $q=6$.

departe, dacă începutul înfășurării fazei este început al unei grupe de bobine. Înfășurările celorlalte faze se realizează la fel ca înfășurarea primei faze, iar pasul dintre începuturile fazelor succesive $y_{i,s}$ se exprimă prin relația (5.2).

În procesul de bobinare a înfășurărilor în trei etaje, se dispun mai întîi în crestături grupele de bobine care revin înfășurării aceleiași faze și care au părțile frontale în același etaj. În cazul în care se utilizează ca element constructiv de bază bobina, grupele de bobine se obțin prin legarea în serie a $q/2$ bobine vecine.

În fig. 5.40 este reprezentată o înfășurare trifazată, în trei etaje, avînd: $Z=36$, $2p=2$ și $q=6$; în fig. 5.40, *a* este reprezentată numai înfășurarea $A—X$ a primei faze și sînt indicate capetele de legătură ale înfășurărilor celorlalte faze și legăturile dintre grupele lor de bobine. Fotografia completă a înfășurării este reprezentată în fig. 5.41.

În figurile 5.42 și 5.43 este reprezentată o înfășurare trifazată, bipolară, avînd $q=4$, cu bobine concentrice în grupe în fig. 5.42, *a* și *b*, și cu bobine identice în grupe în fig. 5.43.

De remarcat că la înfășurările în trei etaje, capetele de legătură ale înfășurărilor

fazelor sînt constituite fie din începuturi, fie din sfîrșituri ale grupelor de bobine. În cazul înfășurării din fig. 5.42, *a*, începutul *A* al înfășurării primei faze este începutul unei grupe de bobine, iar sfîrșitul *X* este de asemenea începutul celeilalte grupe de bobine. Dacă s-ar fi luat ca început al înfășurării fazei sfîrșitul primei grupe de bobine (din crestătura *11*), atunci sensul înfășurării s-ar fi inversat, iar ca sfîrșit al înfășurării fazei s-ar fi obținut sfîrșitul celei de a doua grupe de bobine (din crestătura *23*). În acest caz grupele de bobine s-ar fi legat între ele început cu început și în mod corespunzător s-ar fi schimbat și capetele de legătură și legăturile dintre grupele de bobine ale înfășurărilor celorlalte faze.

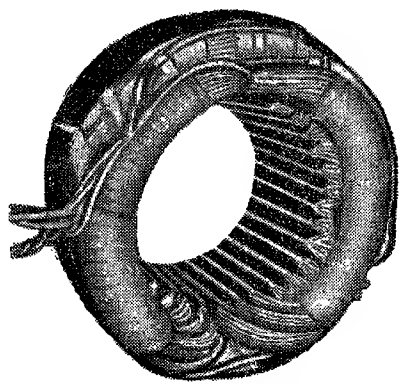


Fig. 5.41. Fotografia unei înfășurări de tipul celei reprezentate în fig. 5.40.

În cazul înfășurărilor multipolare în trei etaje, cu o singură cale de curent, la care se iau ca începuturi ale înfășurărilor de fază începuturile grupelor corespunzătoare de bobine, legăturile dintre grupele succesive se fac alternativ : sfîrșit cu sfîrșit, început cu început și așa mai departe ; începuturile ultimelor grupe devin sfîrșituri ale înfășurărilor de fază. La aceste înfășurări numărul de legături succesive dintre grupele de bobine ale înfășurării unei faze este egal cu $(2p—1)$, adică, o legătură în cazul înfășurărilor bipolare, trei legături în cazul celor tetrapolare, cinci la cele hexapolare, și așa mai departe.

Numărul maxim posibil de căi de curent în paralel pe fază, care se pot realiza la înfășurările cu q par în trei etaje, este egal cu $2p$.

În fig. 5.44 este reprezentată o înfășurare trifazată tetrapolară cu $q=4$, pe care s-a exemplificat formarea căilor de curent. În fig. 5.44, *a*, înfășurarea are două căi de curent pe fază, formate din grupe succesive de bobine care au simultan aceeași polaritate, iar în fig. 5.44, *b*, din grupe de bobine care au simultan polaritate opusă. De remarcat că grupele succesive de bobine în căile de curent se conectează sfîrșit cu sfîrșit în fig. 5.44, *a*, și sfîrșit cu început în fig 5.44, *b*.

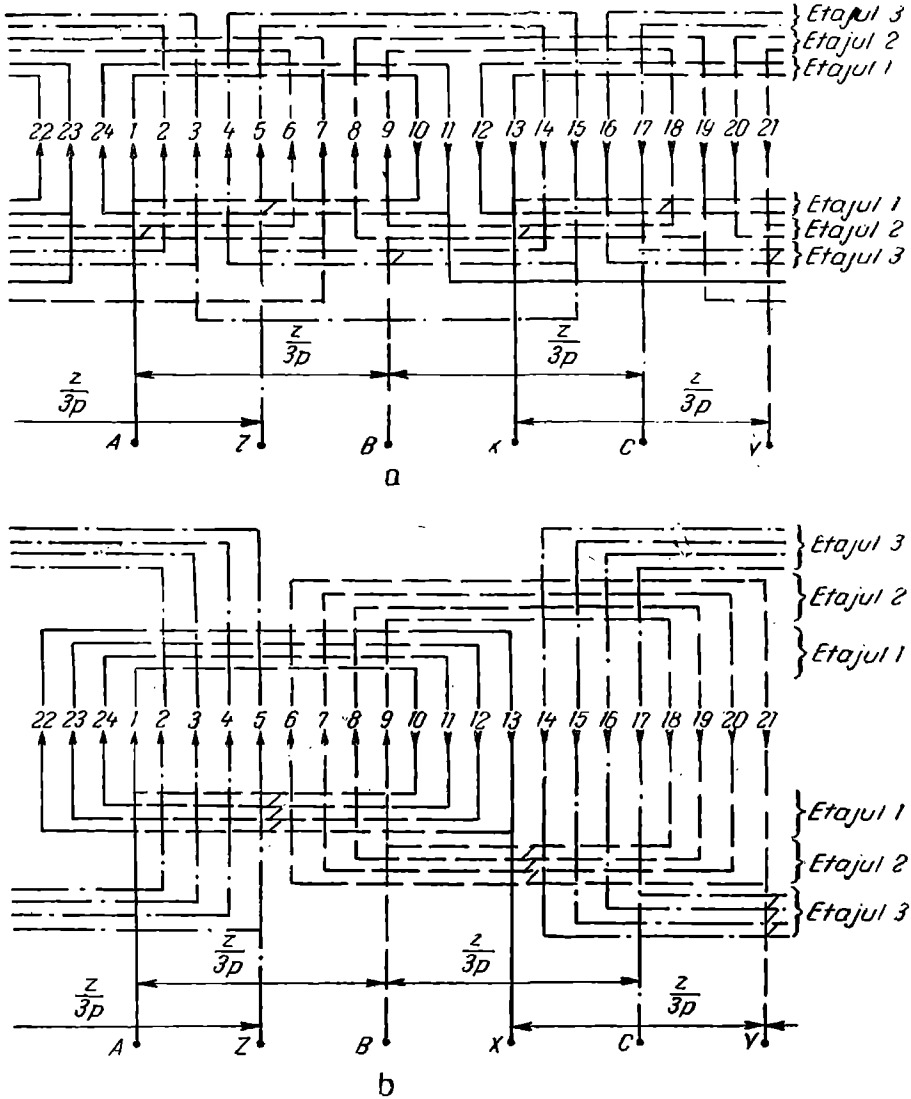


Fig. 5.42. Înfășurarea trifazată, în trei etaje, cu grupe de bobine concentrice, avînd : $Z=24$, $2p=2$, $q=4$:

a — cu q/2 bobine în grupă; *b* — cu q bobine în grupă.

La înfășurările executate după schema din fig. 5.44, *b*, la mașina montată forțele de atracție magnetică unilaterală se reduc, în schimb curenții se repartizează neuniform pe căile de curent și invers, la înfășurările executate după schema din fig. 5.44, *a*.

Înfășurările în trei etaje constituite din $6p$ grupe de bobine cu $q/2$ bobine în grupă sînt înfășurări cu pas scurtat. La acestea pasul bobinelor componente sau pasul mediu al bobinelor din grupă este mai mic decît pasul polar $\tau = \frac{Z}{2p}$, cu 16,66%, iar factorul de înfășurare

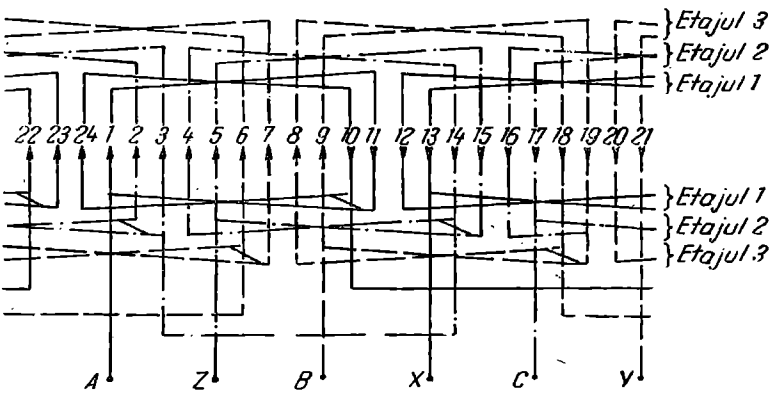


Fig. 5.43. Înfășurarea trifazată, în trei etaje, cu grupe de bobine identice, cu $q/2$ bobine în grupă, avînd $Z=24$, $2p=4$, $q=4$.

are aceeași valoare ca factorul de înfășurare corespunzător înfășurărilor echivalente în trei etaje constituite din $3p$ grupe de bobine cu q bobine în grupă (vezi fig. 5.42, *a* și *b*).

Înfășurările cu q impar se execută rar ca înfășurări în trei etaje deoarece, în cazul acestora, în înfășurarea de fază se succed grupe mari și grupe mici de bobine ; grupa mare va avea $(q+0,5)$ bobine, iar grupa mică $(q-0,5)$ bobine. O schemă a unei astfel de înfășurări avînd $q=3$ este reprezentată în fig. 5.45.

La înfășurările în trei etaje, la care părțile frontale ale bobinelor sau grupelor de bobine se dispun ca în fig. 5.39, *a*, sînt necesare cantități diferite de material conductor, pentru înfășurările fazelor ; lungimea medie a spirelor este diferită în cele trei înfășurări, mai mică pentru etajul 1 și apoi crește în ordine pentru etajele 2 și 3.

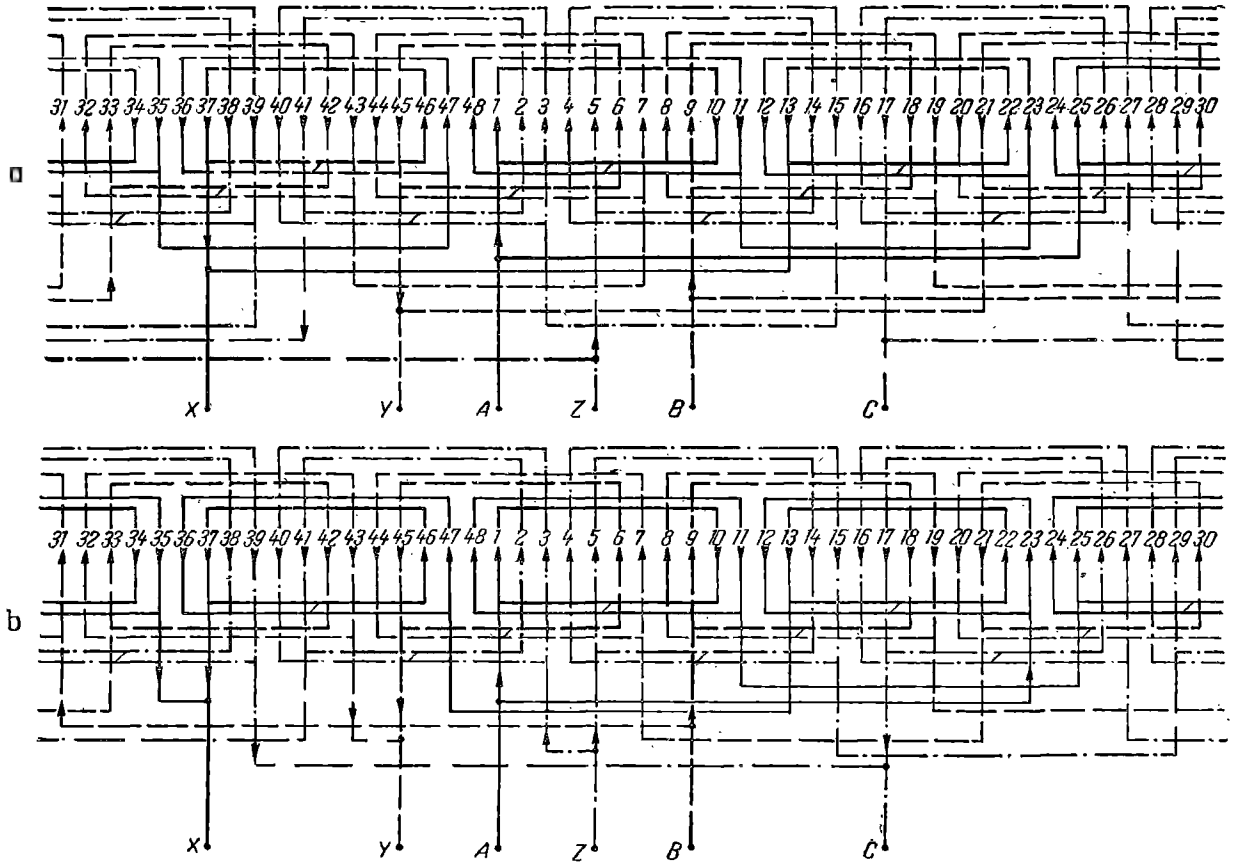


Fig. 5.44. Înfășurare trifazată, în trei etaje cu căi de curent în paralel, avînd: $2=48$, $2p=4$, $q=4$, $a=2$:
a — cu grupe de bobine pe calea de curent, de polaritate simultană opusă; *b* — cu grupe de bobine pe calea de curent, de aceeași polaritate simultană.

Dispunerea părților frontale ale grupelor de bobine după modurile indicate în fig. 5.39, *b* și c, necesită aproximativ aceeași lungime medie a spirei pe faze și relativ mai mică decît în cazul din fig. 5.39, *a*. Dispunerea conform fig. 5.39, c, se practică la mașinile cu indusul sec-

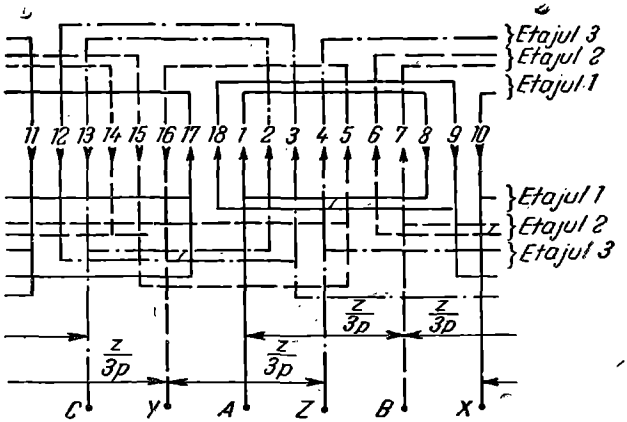


Fig. 5.45. Înfășurare trifazată, în trei etaje, avînd : $Z=18$, $2p=2$, $q=3$.

ționat în două sau mai multe sectoare, fiecărui sector revenindu-i în acest caz minimum doi poli. La asemenea mașini, rotorul se introduce radial în statorul demontat.

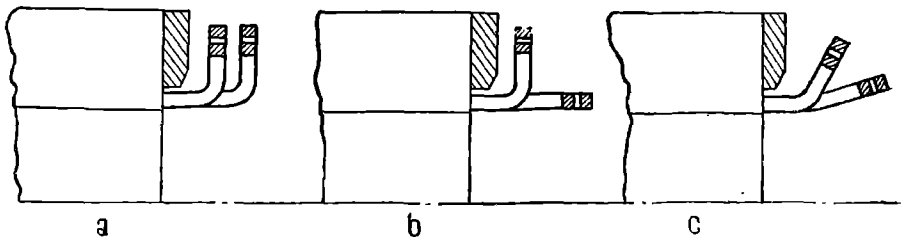
a. 2. Înfășurări în două etaje

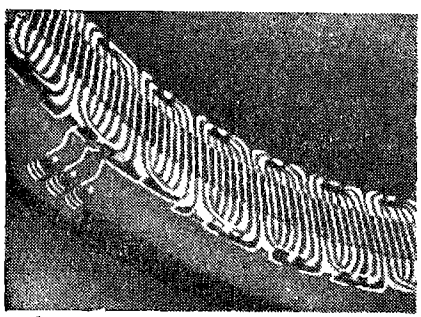
La înfășurările în două etaje părțile frontale ale bobinelor sau grupelor de bobine se dispun fie după două plane perpendiculare pe axul mașinii așa cum se arată în fig. 5.46, *a*, fie după suprafețe perpendiculare, cilindrice și conice față de axul mașinii ca în fig. 5.46, *b* și *c*. În schemele înfășurărilor, etajele sînt formate de părțile frontale ale grupelor de bobine, așa cum se observă în fig. 5.47, a_1, a_2, *b* și c.

Înfășurările în două etaje se utilizează pe scară largă la mașinile electrice avînd $p>2$. Înfășurările trifazate în două etaje cu q întreg sînt constituite din $3p$ grupe de bobine, cu q bobine în grupă, înfășurarea fiecărei faze avînd p grupe. Grupele succesive de bobine ce aparțin aceleiași faze sînt decalate între ele cu un dublu pas polar 2τ, respectiv cu $\frac{Z}{p}$ crestături, adică au simultan aceeași polaritate, iar părțile lor frontale sînt dispuse alternativ în cele două etaje. Pentru

obținerea înfășurării fazei cu o singură cale de curent, la înfășurările în două etaje, grupele de bobine se leagă succesiv între ele sfîrșit cu început, dacă începutul înfășurării fazei este un început al unei grupe de bobine.

Pasul începuturilor înfășurărilor fazelor succesive se exprimă prin relația (5.2).



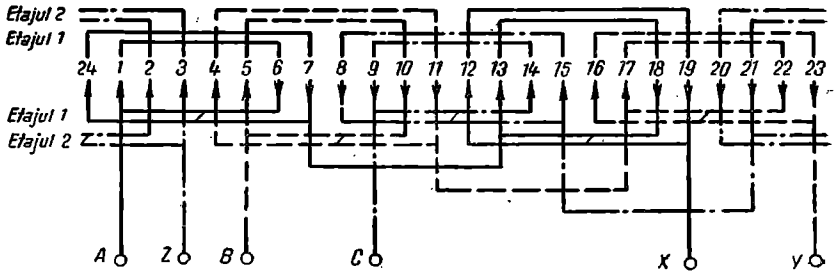


d

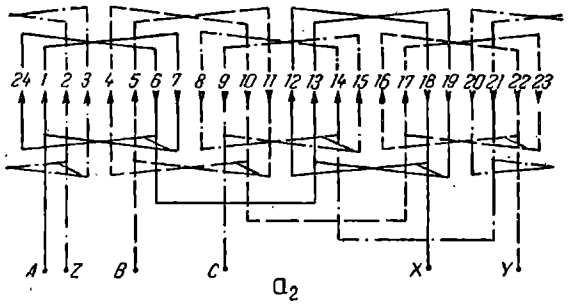
Fig. 5.46. Forme constructive (față de axul de rotație al mașinii) ale părților frontale la înfășurările în două etaje, pentru $q=2$:

a — după suprafețe perpendiculare (etajele 1 și 2); *b* — după suprafețe, perpendiculară (etajul 1) și cilindrică (etajul 2); *c* — după suprafețe cu conicitate diferită (etajele 1 și 2); *d* — porțiune dintr-o înfășurare, în două etaje, dispuse după forma *b*.

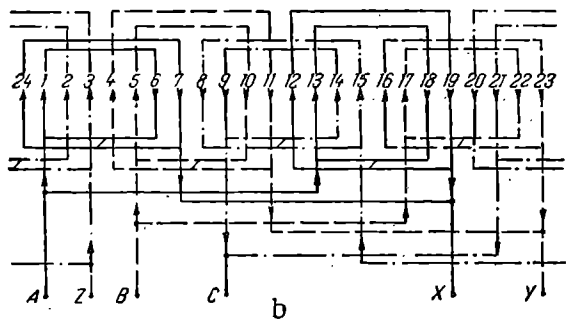
Numărul maxim de căi de curent în paralel pe fază este egal cu p la înfășurările în două etaje cu q impar. La înfășurarea cu p căi de curent, toate grupele de bobine ale înfășurării fazei sînt conectate în paralel (vezi fig. 5.47, *b*). În cazul înfășurărilor din *grupe de bobine concentrice cu q par*, numărul maxim posibil de căi de curent în paralel pe fază este egal cu $2p$; la aceste înfășurări în fiecare grupă se pot realiza cîte două căi de curent în paralel, o cale va fi constituită din bobinele care au deschiderea mai mică decît pasul polar, iar cealaltă cale, din bobinele cu deschiderea mai mare decît pasul polar. În fig. 5.47, c este reprezentată o înfășurare tetrapolară cu q par avînd numărul maxim de căi de curent în paralel $a=2p=4$. De reținut (v. fig. 5.16, *b*) că la înfășurările cu a căi de curent, bobinele înfășurării au de a ori mai multe spire decît bobinele înfășurării echivalente



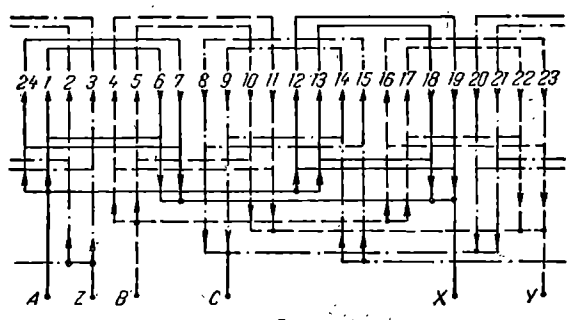
a_1



a_2



b



c

Fig. 5.47. Înfășurare trifazată în două etaje, avînd : $Z=24$, $2p=4$, $q=2$:

a_1 — cu bobine concentrice în grupe ; $a=1$; a_2 — cu bobine de aceeași deschidere în grupe (cu succesiunea bobinelor în grupă spre stînga) ; $a=1$; b — cu bobine concentrice în grupe ; $a=2$; c — cu bobine concentrice în grupe ; $a=4$.

cu o singură cale de curent, iar secțiunea căii de curent este de a ori mai mică; spre exemplu, dacă în fig. 5.47 schemele corespund unor înfășurări echivalente, atunci bobinele din fig. 5.47, *b*, respectiv 5.47, *c*, vor avea de două ori respectiv de patru ori mai multe spire decît bobinele din fig. 5.47, *a*, iar secțiunea căii de curent va fi de două ori mai mică în fig. 5.47, *b* și de patru ori mai mică în fig. 5.47, *c*.

La înfășurările în două etaje, jumătate din grupele de bobine au părțile frontale în același etaj. În cazul înfășurărilor trifazate, numărul grupelor de bobine ale căror părți frontale se dispun în același etaj este egal cu $\frac{3p}{2}$. Acest raport este întreg sau fracționar, după cum p este par sau impar. La înfășurările cu p par, înfășurările fazelor sînt identice, părțile frontale ale celor p grupe de bobine sînt dispuse alternativ în cele două etaje. La înfășurările cu p impar cîte $\left(\frac{3p}{2} - 0{,}5\right)$ grupe au părțile frontale în același etaj, iar o grupă de bobine numită strîmbă, are părțile frontale de trecere de la etajul 1 la etajul 2. O înfășurare cu o singură cale de curent avînd $p=3$ este reprezentată în fig. 5.48. La înfășurările cu p impar înfășurările fazelor nu sînt identice.

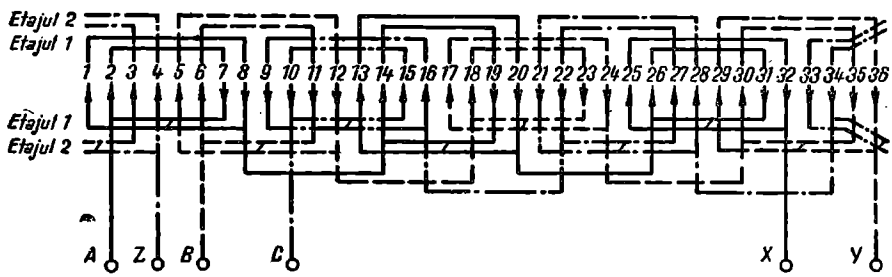


Fig. 5.48. Înfășurarea trifazată în două etaje avînd: $Z=24$, $2p=6$, $q=2$, $a=1$.

În procesul de bobinare a înfășurărilor în două etaje, se introduc mai întîi în crestături grupele de bobine ale căror părți frontale se dispun în primul etaj (mai aproape de miezul magnetic), apoi grupa de bobine strîmbă, dacă p este impar și în fine, grupele de bobine ale căror părți frontale se dispun în etajul al doilea. În cazul în care se utilizează ca element constructiv de bază bobina, grupa de bobine se obține prin legarea în serie a cîte q bobine vecine.

Toate înfășurările cu șase zone în două etaje sînt înfășurări cu pas diametral, la acestea factorul de înfășurare este egal cu factorul de repartizare.

Schemele înfășurărilor în două etaje pentru $p>3$ se pot stabili cu ajutorul schemelor reprezentate mai sus pentru $p=2$ și $p=3$ ca scheme elementare. Pentru același număr de poli, la q diferit, se modifică corespunzător numai numărul bobinelor din grupă ; schema de legături dintre grupele de bobine se face în corespondență cu numărul căilor de curent. Spre exemplu, o înfășurare tetrapolară cu $q=3$, cu o cale de curent, va avea grupele constituite din cîte trei bobine, iar legăturile între grupele de bobine vor fi similare cu acelea din fig. 5.47, a_1 sau a_2.

Pentru același q la număr de poli diferiți, schema înfășurării se obține prin compunerea schemelor elementare. De exemplu, înfășurarea trifazată cu $p=4$ și $q=2$ din fig. 5.49, *a* și respectiv *b*, cuprinde de două ori schema înfășurării trifazate cu $p=2$ și $q=2$ din fig. 5.47, a_1 și respectiv din fig. 5.47, *b*. O înfășurare cu 10 poli cuprinde două înfășurări tetrapolare și una bipolară ; o înfășurare cu 12 poli cuprinde trei înfășurări tetrapolare și așa mai departe. Toate înfășurările care cuprind un multiplu întreg de înfășurări tetrapolare plus una bipolară sînt înfășurări cu p impar și conțin și cîte o grupă de bobine strîmbă.

Înfășurările bipolare nu se execută ca înfășurări în două etaje deoarece necesită mai mult material conductor decît înfășurările în trei etaje constituite din $6p$ grupe de bobine.

La înfășurările trifazate cu p par sau p impar diferit de trei sau multiplu de trei, capetele de legătură ale înfășurărilor de fază se pot scoate grupat sau din crestături echidistante. În cazul înfășurărilor cu p egal cu trei sau multiplu de trei, în crestăturile echidistante (v. fig. 5.48) se găsesc laturi de bobine care aparțin aceleiași faze.

a. 3. Înfășurările în coroană de grupe de bobine concentrice

Înfășurările într-un strat în coroană de grupe de bobine concentrice se execută fie cu $2pm$ grupe și $q/2$ bobine în grupă, fie cu pm grupe și q bobine în grupă.

Primele sînt înfășurări cu pas scurtat și au aceeași componență și aceleași scheme de legături ca și înfășurările în trei etaje, cu grupe de bobine concentrice. Celelalte sînt înfășurări cu pas diametral și au aceeași componență și aceleași scheme de legături ca și înfășurările în două etaje, cu grupe de bobine concentrice.

În figurile 5.50, 5.51 și 5.52 sînt reprezentate desfășurat schemele unor înfășurări în coroană de grupe de bobine concentrice, avînd respectiv aceleași date ca schemele înfășurărilor din fig. 5.42, 5.47, *a*, 5.44, *a*.

Spre deosebire de înfășurările în trei și două etaje, din grupe de bobine concentrice, la care sînt identice între ele numai grupele de

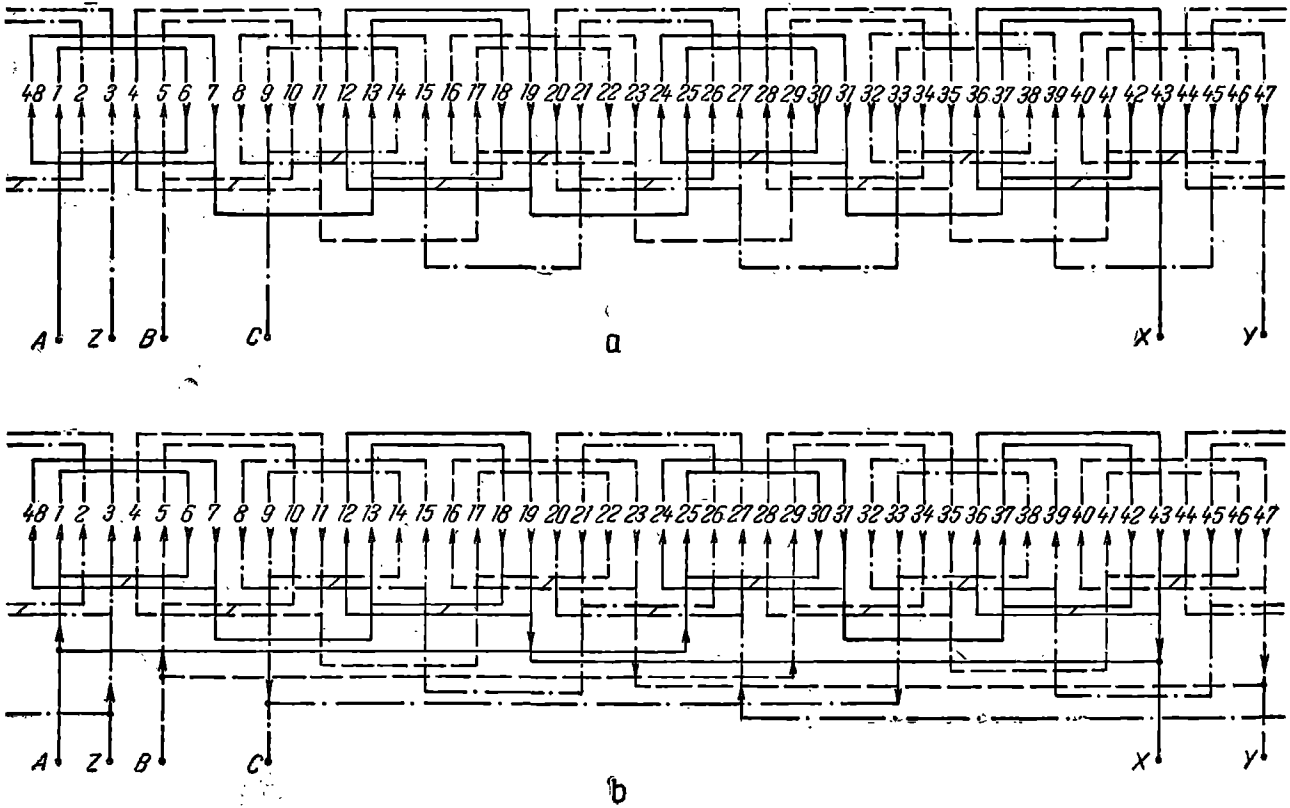


Fig. 5.49. Înfășurarea trifazată, în două etaje, avînd : $Z=48$, $2p=8$, $q=2$:
a — cu o cale de curent; *b* — cu două căi de curent.

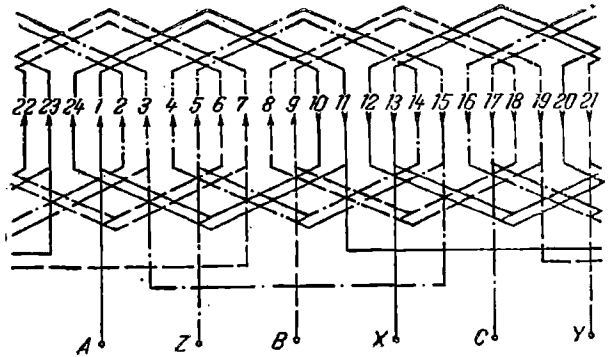


Fig. 5.50. Înfășurarea trifazată, în coroană de grupe de bobine concentrice, avînd : $Z=24$, $2p=2$, $q=4$.

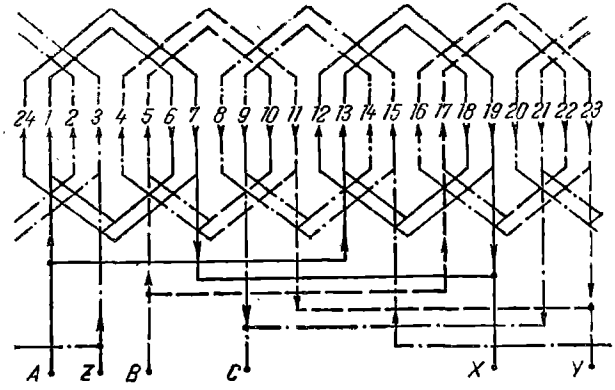


Fig. 5.52. Înfășurare trifazată, în coroană de grupe la bobine concentrice, avînd : $Z=24$, $2p=4$, $q=2$, $a=2$.

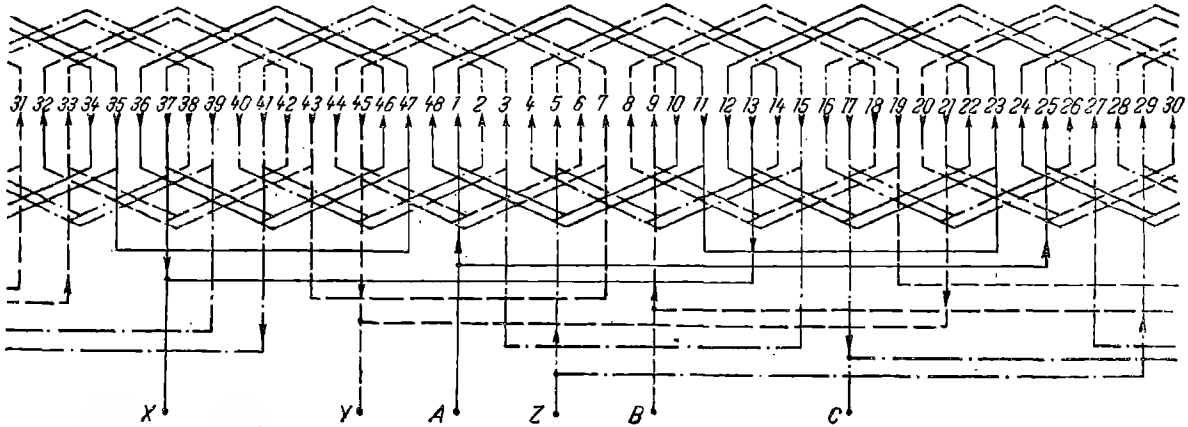


Fig. 5.51. Înfășurarea trifazată, în coroană de grupe de bobine concentrice, avînd : $Z=48$, $2p=4$, $q=4$, $a=2$.

bobine ale căror părți frontale sînt dispuse în același etaj, la înfășurările în coroana de grupe de bobine concentrice sînt identice între ele toate grupele de bobine. Ca urmare, înfășurările fazelor devin identice, independent de numărul de poli și de asemenea se pot obține căi de curent identice pentru oricare numărul posibil de căi de curent.

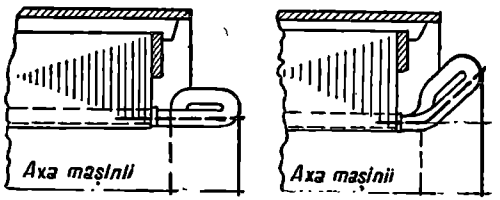


Fig. 5.53. Poziții, față de axul de rotație al mașinii, a părților frontale ale înfășurărilor într-un strat, în coroană de grupe de bobine concentrice :
a — cu coroana după o suprafață cilindrică; *b* — cu coroana după o suprafață conică.

La înfășurările în coroană de grupe de bobine concetrice, numărul maxim posibil de căi de curent în paralel este același ca la înfășurările în două și trei etaje, adică $a=2p$ la înfășurările cu $2pm$ grupe și $q/2$ bobine în grupă și $a=p$ la înfășurările cu pm grupe și q bobine în grupă ; în ultimul caz, la înfășurările cu q par numărul maxim de căi de curent poate fi egal cu $2p$.

Elementul constructiv de bază al acestor înfășurări este grupa de bobine ; grupele de bobine se introduc în crestături în ordinea dispunerii lor în coroană. La înfășurările cu q par cu $2pm$ grupe, pasul mediu al bobinelor din grupă este mai mic cu 16,66% decît pasul mediu al bobinelor din grupă la înfășurările cu q întreg cu pm grupe.

Părțile frontale ale grupelor de bobine se dispun după suprafețe cilindrice sau conice, așa cum se arată în fig. 5.53.

Lungimea axială a unei înfășurări rezultă mai mică cînd se construiește cu $2pm$ grupe, în loc de pm grupe de bobine.

a. 4. Înfășurări în coroană de grupe de bobine egale

Înfășurările într-un strat în coroană de grupe de bobine egale se execută fie cu $2pm$ grupe și $q/2$ bobine în grupă, fie cu pm grupe și q bobine în grupă.

Primele sînt înfășurări cu pas scurtat și au aceeași structură și aceleași legături ca înfășurările echivalente în trei etaje, cu grupe de bobine egale. Celelalte sînt înfășurări cu pas diametral și sînt asemenea înfășurărilor echivalente în două etaje, cu grupe de bobine egale.

În figurile 5.54 şi 5.55 sînt reprezentate desfăşurat schemele unor înfăşurări în coroană de grupe egale, avînd respectiv aceleaşi date ca schemele înfăşurărilor din fig. 5.43 şi fig. 5.47, a_2.

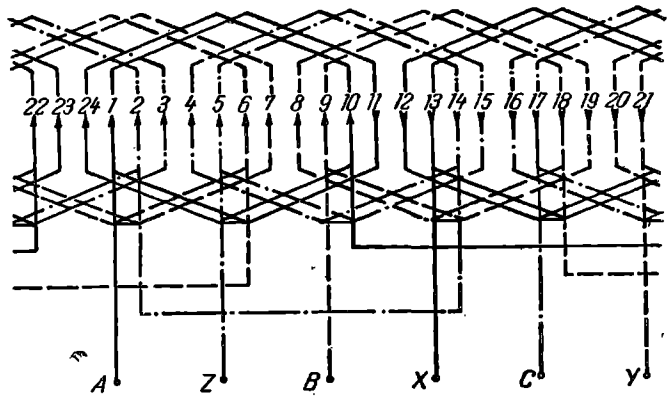


Fig. 5.54. Înfăşurarea trifazată, în coroană de grupe de bobine egale, avînd : $Z=24$, $2p=2$, $q=4$.

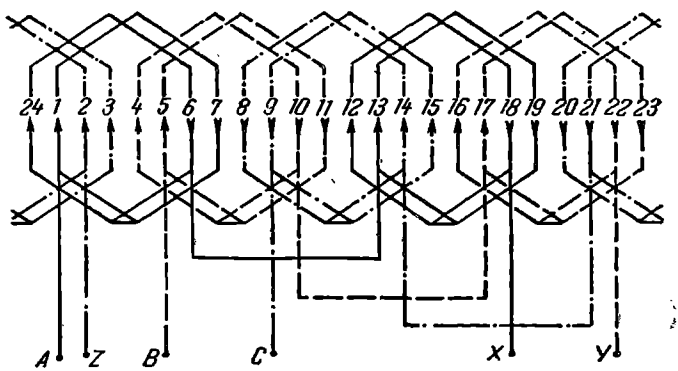


Fig. 5.55. Înfăşurare trifazată, în coroană de grupe de bobine egale, avînd : $Z=24$, $2p=4$, $q=2$.

La înfăşurările în coroană de grupe de bobine egale părţile frontale ale bobinelor în grupă se dispun în coroană (se încrucişează). Din această cauză diametrul coroanei acestor înfăşurări este mai mare decît la înfăşurările echivalente în coroana de grupe de bobine concentrice.

Elementul constructiv de bază al acestor înfășurări este grupa de bobine ; în procesul de bobinare grupele se introduc în crestături în ordinea cerută de dispunerea părților lor frontale în coroană.

Numărul maxim posibil de căi de curent în paralel este egal cu $2p$ la înfășurările cu $2pm$ grupe și cu p la înfășurările cu pm grupe.

La înfășurările constituite din grupe de bobine egale tensiunile induse în bobinele unei grupe sînt defazate între ele și în consecință nu se mai pot conecta în paralel bobine din aceeași grupă pentru a forma noi căi de curent.

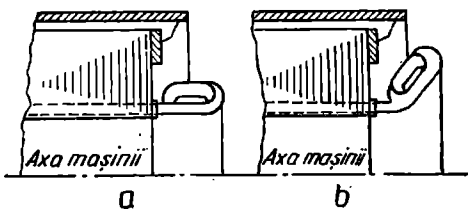


Fig. 5.56. Poziții, față de axul de rotație al mașinii, a părților frontale ale înfășurărilor într-un strat, în coroană de grupe de bobine egale :
a — cu coroana după o suprafață cilindrică; *b* — cu coroana după o suprafață conică.

Părțile frontale ale grupelor de bobine egale se dispun după o suprafață cilindrică (fig. 5.56, *a*), respectiv conică (fig. 5.56, *b*).

a. 5. Înfășurări în coroană de bobine egale

Aceste înfășurări denumite și înfășurări în lanț au bobinele identice și pasul — exprimat în număr de crestături — impar.

Înfășurările trifazate în coroană de bobine egale cu q impar sînt înfășurări cu pas diametral, iar cele cu q par sînt cu pas scurtat sau lungit.

În fig. 5.57 este reprezentată schema unei înfășurări tetrapolare cu pas diametral avînd trei crestături pe pol și fază ($q=3$), iar în

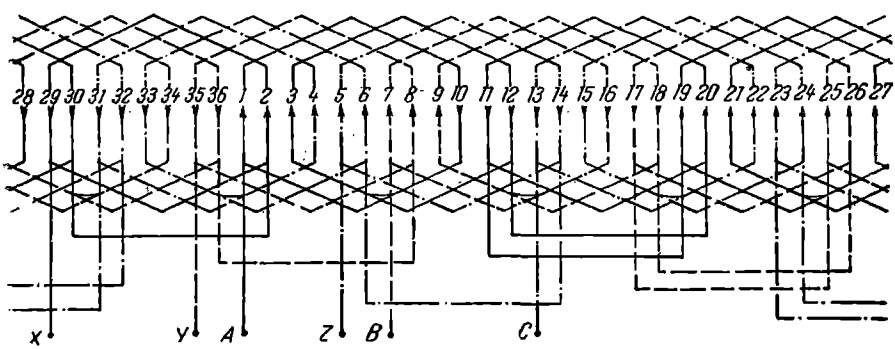


Fig. 5.57. Înfășurare trifazată, în coroană de bobine egale, avînd $Z=36$, $2p=4$, $q=3$.

fig. 5.58 schema unei înfășurări tetrapolare, cu $q=2$, cu pas scurtat (în fig. 5.58, *a*) și lungit (în fig. 5.58, *b*). Schema unei înfășurări bipolare cu $q=4$ este reprezentată în fig 5.59.

La înfășurările în coroană de bobine egale, elementul constructiv de bază este bobina. Aceste înfășurări sînt constituite din $2pm$ grupe

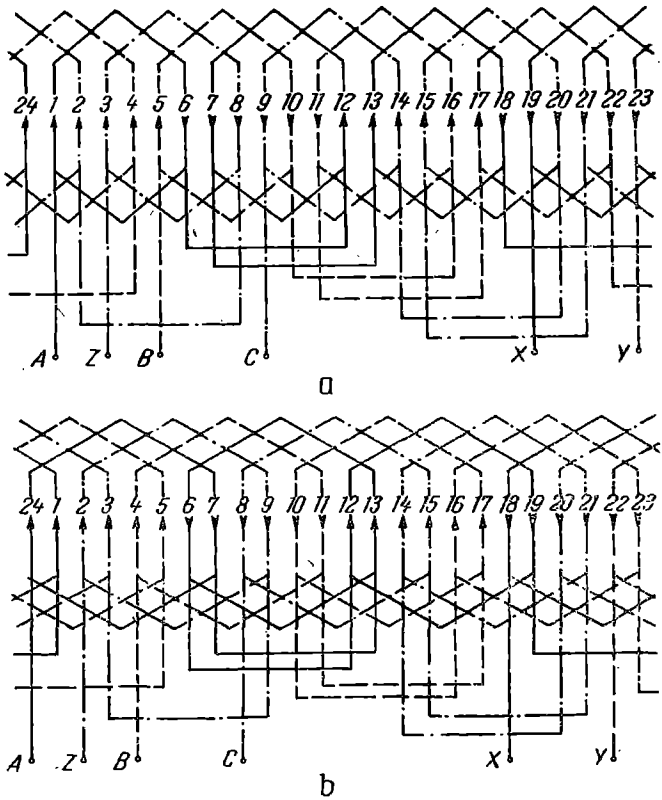


Fig. 5.58. Înfășurare trifazată, în coroană de bobine egale, avînd $Z=24$, $2p=4$, $q=2$:
a — din bobine cu pas scurtat; *b* — din bobine cu pas lungit.

de bobine cu $q/2$ bobine în grupă pentru q par; la înfășurările cu q impar, jumătate din numărul grupelor au $\left(\frac{q}{2}-0{,}5\right)$ bobine, iar celelalte $\left(\frac{q}{2}+0{,}5\right)$ bobine. Bobinele succesive în grupă sînt decalate între ele cu două crestături.

Pentru realizarea schemei înfășurării se procedează astfel : se formează mai întîi grupele de bobine prin legarea în serie a $q/2$ bobine pentru înfășurările cu q par și respectiv a $\left(\frac{q}{2}+0{,}5\right)$ bobine alternativ cu $\left(\frac{q}{2}-0{,}5\right)$ bobine, pentru cele cu q impar. Grupele succesive de bobine care revin înfășurării aceleiași faze sînt decalate cu un pas polar și se leagă între ele alternat : sfîrșit cu sfîrșit, început cu început.

Părțile frontale ale bobinelor în coroană se dispun după coroane cilindrice, respectiv conice ca în fig. 5.53, *a*, respectiv 5.53, *b*.

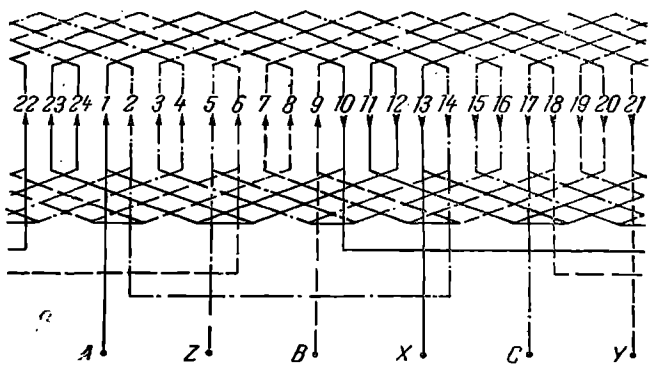


Fig. 5.59. Înfășurare trifazată, în coroană de bobine egale, avînd : $Z=24$, $2p=2$, $q=4$.

Înfășurările în coroană de bobine prezintă avantaje la ventilație, deoarece au în părțile frontale suprafețe de răcire mai mari în raport cu celelalte tipuri de înfășurări într-un strat.

a. 6. Înfășurări în evolventă

Înfășurările în evolventă se practică în general la mașinile bipolare de putere mare și tensiune înaltă. La aceste înfășurări părțile frontale ale bobinelor se dispun de ambele părți ale miezului magnetic, fie în două, patru sau chiar șase plane perpendiculare pe axul mașinii, fie după suprafețe conice, fiind denumite în acest din urmă caz înfășurări în coș. La înfășurările multipolare, dispunerea în evolventă

în două plane perpendiculare pe axul mașinii asigură cea mai mică dimensiune axială a înfășurării. La înfășurările bipolare, prin dispunerea în evolventă în mai multe plane, dimensiunea axială a înfășurării crește proporțional cu numărul de plane ; suprafața de transmisie a căldurii crește și în consecință înfășurarea este mai bine ventilată.

Părțile frontale ale înfășurării în evolventă se dispun așa cum se arată în fig. 5.60 și anume :

— în fig. 5.60, *a* și *b*, laturile bobinelor sînt dispuse în crestături într-un strat, iar părțile lor frontale sînt dispuse în evolventă, în coroane alăturate în fig. 5.60, *a* și respectiv concentrice în fig. 5.60, *b* ;

— în fig. 5.60, c, înfășurarea denumită *în straturi* are părțile frontale ale bobinelor dispuse în evolventă, în coroane concentrice. Co-

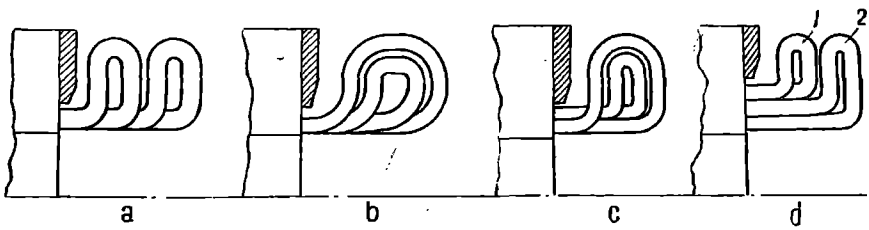


Fig. 5.60. Moduri de reprezentare a dispunerilor în evolventă :
a, d — în două coroane alăturate; *b, c* — în două coroane concentrice.

roanele la asemenea înfășurări se pot dispune și alăturat. În exemplul reprezentat în fig. 5.60, c, înfășurarea este în *două straturi*, în fiecare crestătură fiind dispuse cîte două laturi de bobine și anume, fie două laturi de ducere, fie două laturi de întoarcere, fie o latură de ducere și una de întoarcere. Înfășurările *în straturi* sînt în realitate înfășurări într-un strat de tipul celor în coroană de bobine egale, dispuse suprapus în crestături. La o înfășurare în *două straturi* în crestături sînt suprapuse două înfășurări într-un strat, trei la o înfășurare în *trei straturi* etc. ;

— în fig. 5.60, *d*, înfășurarea este constituită din două înfășurări (*1*) într-un strat și (*2*) în două straturi ; coroanele în evolventă, cîte una pentru fiecare înfășurare, sînt dispuse alăturat.

În fig. 5.61 este reprezentată schema desfășurată a unei înfășurări bipolare, trifazată, într-un strat, în evolventă, în două coroane

alăturate. În general, înfășurările în evolventă se reprezintă în schemele desfășurate la fel ca înfășurările în coroană și se precizează în plus : dispunerea în evolventă, numărul de coroane și dispunerea relativă a acestora.

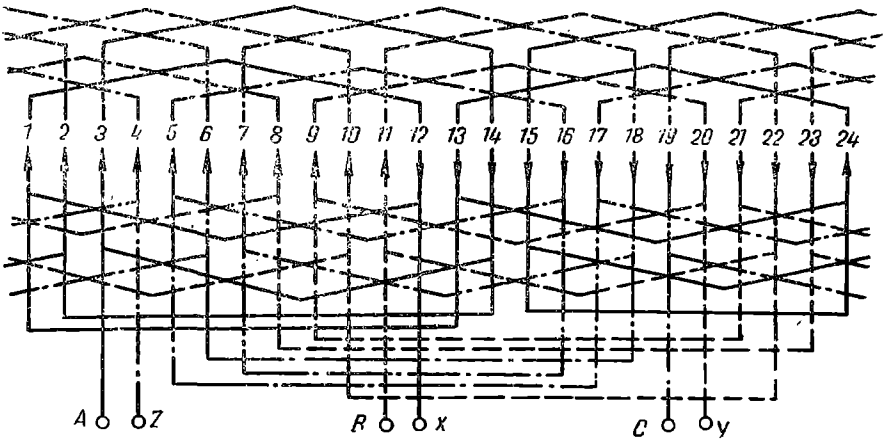


Fig. 5.61. Schema desfășurată a unei desfășurări în evolventă, avînd : $Z=24$, $2p=2$, $q=4$.

Fotografia unei înfășurări într-un strat, cu părțile frontale ale bobinelor dispuse în evolventă în două plane, este reprezentată în fig. 5.62.

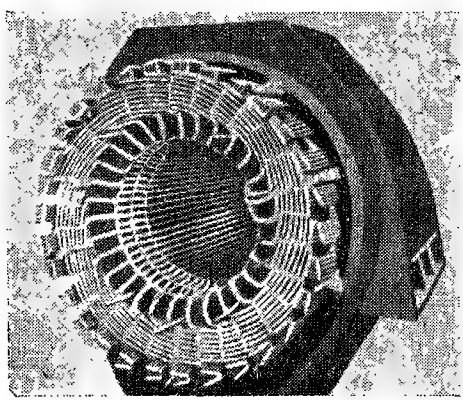


Fig. 5.62. Fotografia unei înfășurări, în evolventă în două plane.

La înfășurările în evolventă, se utilizează ca element constructiv de bază bobina sau grupa de semispire.

a. 7. Înfășurări pentru statoare secționate

Deseori în construcția mașinilor electrice se impune secționarea statorului în două sau mai multe părți, pentru a ușura transportul și montajul mașinii. Aceste părți în formă de sectoare se bobinează separat.

La executarea acestor înfășurări se pune problema grupării părților frontale ale bobinelor sau grupelor de bobine în așa fel încît nici o bobină sau grupă de bobine să nu fie secționată de planul de îmbinare al părților componente ale statorului.

În fig. 5.63, *a*, este reprezentată schema unei înfășurări trifazate tetrapolare, în două etaje, pentru stator nesecționat și se pune problema secționării indusului după axele x_1—x_2 și y_1—y_2. În acest caz planul de secționare va tăia părțile frontale ale grupelor de bobine ale înfășurării *C*—*Z*. Pentru a evita aceasta se rotesc grupele de bobine ale înfășurării *C*—*Z* cu 180° în jurul axei dinților dintre crestăturile *9*—*10* și respectiv *21*—*22* ; părțile frontale ale acestor grupe de bobine trebuie dispuse într-un alt etaj pentru a nu se suprapune peste părțile frontale ale altor grupe de bobine. Se obține astfel schema înfășurării, fig. 5.63, *b*, pentru stator (secționat) ; părțile frontale ale grupelor de bobine sînt dispuse în trei etaje, iar între cele două sectoare nu se află decît legăturile dintre grupele de bobine ale înfășurărilor *A*—*X* și *B*—*Y* (peste axa x_1—x_2) și *C*—*Z* (peste axa y_1—y_2). De observat că prin rabatare la 180°, grupele de bobine ale înfășurării *C*—*Z* și-au schimbat sensul de înfășurare, iar extremitățile înfășurării (capetele de legătură) sînt scoase din crestăturile *9* și *15* (fig. 5.63, *b*) în loc de *10* și *4* (fig. 5.63, *a*). Cele două scheme sînt echivalente din punct de vedere al producerii cîmpului în întrefier, pentru că înfășurările fazelor în cele două cazuri ocupă aceleași crestături și la aceeași succesiune a fazelor, înfășurările corespunzătoare ale fazelor sînt străbătute de curent în același sens. Deosebirea între cele două scheme apare în dispunerea părților frontale ale grupelor de bobine.

Adoptînd dispunerea din fig. 5.63, c, înfășurările fazelor necesită aproximativ aceeași cantitate de conductor și în practică se utilizează aproape exclusiv înfășurări, pentru statoare secționate, executate în trei etaje, după schema din fig. 5.63, c. În acest caz se introduc mai întîi în crestături grupele de bobine ale căror părți frontale se dispun în primul etaj și apoi în ordine grupele de bobine din etajele doi și trei.

Pentru cazurile cînd planele de secționare ar tăia părțile frontale ale grupelor de bobine ale înfășurării *B*—*Y* (între crestăturile *8*—*9* și respectiv *20*—*21*) sau *A*—*X* (între crestăturile *4*—*5* și respectiv *16*—*17*), atunci grupele de bobine ale acestor înfășurări s-ar roti cu 180° ; executînd înfășurarea după schema din fig. 5.63, c, părțile frontale ale grupelor de bobine care trebuie rotite se vor dispune în etajul al doilea, înfășurările celorlalte două faze se vor dispune egal în primul, respectiv în al treilea etaj.

În mod similar se deduc și alte scheme de înfășurări pentru statoare secționate.

Trebuie reținut faptul esențial că *porțiunea de înfășurare ce revine unui sector corespunde unui număr par de poli și că pentru fiecare dublu pas polar ea se dispune grupat în părțile frontale.*

În afară de înfășurările în trei etaje, în practică se utilizează pentru statoare secționate și înfășurările avînd capetele de bobină dispuse în coroană. În fig. 5.63, *d* este reprezentată o astfel de dispunere pentru o înfășurare avînd aceleași date caracteristice ca și înfășurarea din fig. 5.63, c. Adoptînd grupe de bobine, jumătate cu succesiunea bobinelor în grupă spre stînga și jumătate spre dreapta în schema din fig. 5.63, *d*, extremitățile înfășurărilor de fază (capetele de legătură) se află în aceleași crestături ca în fig. 5.63, c. În fig. 5.63, *e* înfășurarea este constituită din grupe de bobine cu succesiunea bobinelor în grupă spre dreapta, iar în fig. 5.63, *f*, înfășurarea este constituită din grupe de bobine cu succesiunea bobinelor în grupă spre stînga. De remarcat că cele mai scurte legături între grupele de bobine ale înfășurărilor fazelor se obțin în cazul schemei din fig. 5.63, *e*, fapt pentru care înfășurările secționate cu dispunerea grupată în coroană se execută după această schemă. Din punct de vedere al producerii cîmpului în întrefier cele trei scheme (fig. 5.63, *d, e, f)* sînt echivalente, înfășurările fazelor ocupă aceleași crestături; capetele de legătură sînt scoase din diferite crestături în cele trei scheme datorită utilizării de grupe de bobine cu diferite succesiuni a bobinelor în grupă.

Fotografia unei înfășurări pentru indus secționat este reprezentată în fig. 5.64, cu dispunerea grupată în coroană.

În fig. 5.65 este reprezentată schema unei înfășurări trifazate hexapolară, cu q fracționar, pentru un stator secționat.

Spre deosebire de înfășurările trifazate pentru statorul secționat la care înfășurările fazelor se pot obține perfect simetrice, la înfășurările bifazate înfășurările fazelor sînt diferite între ele. Spre exemplu, în fig. 5.66 este reprezentată schema unei înfășurări bifazate, tetrapolare, pentru un indus nesecționat (în fig. 5.66, *a*) și secționat (în fig. 5.66, *b*).

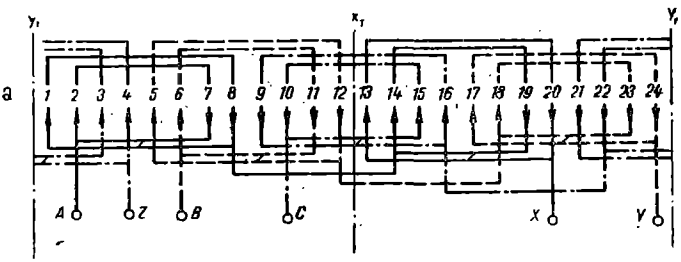
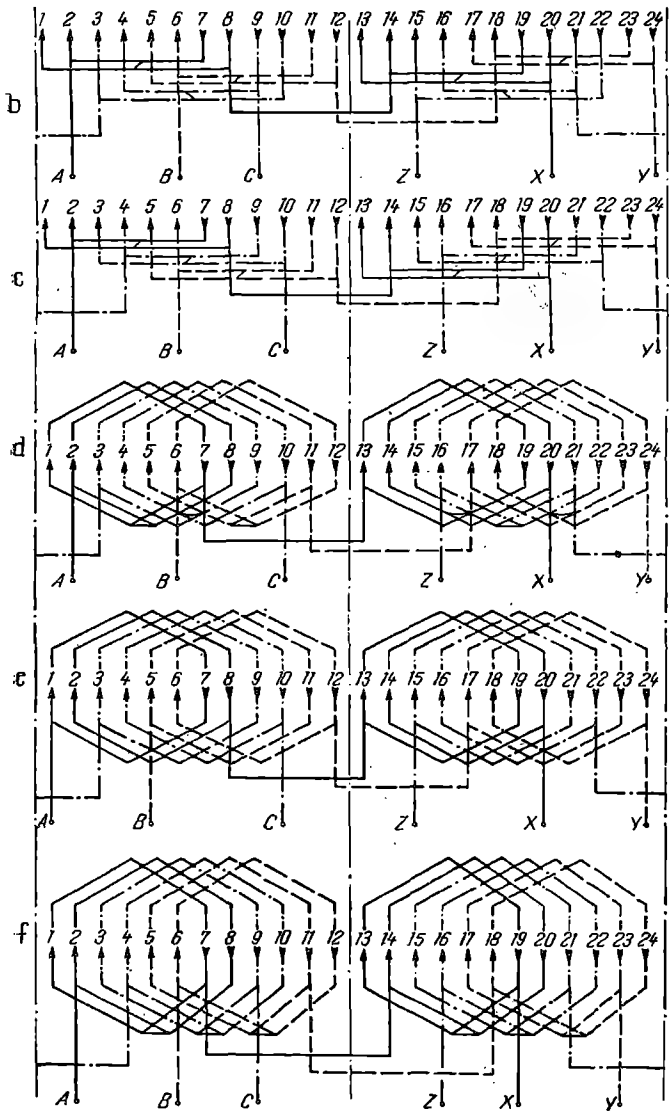


Fig. 5.63. Înfășurare trifazată,

a — în două etaje, pentru indus nesecționat; *b*, *c* — în trei etaje, pentru



avînd : $Z=24$, $2p=4$, $q=2$:

ndus secționat; d, e, f — în coroană, pentru indus secționat.

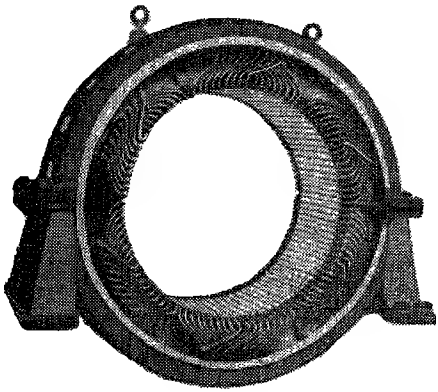


Fig. 5.64. Fotografia unei înfășurări în coroană, pentru indus secționat avînd : $Z=108$, $2p=12$, $q=3$.

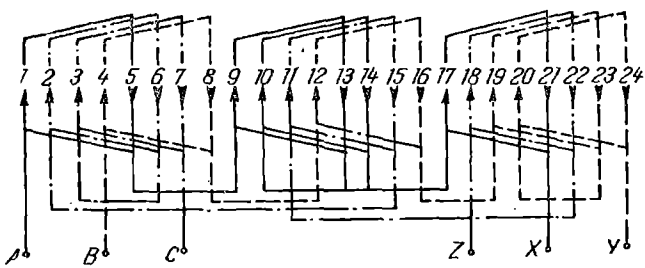


Fig. 5.65. Schema unei înfășurări în coroană, pentru indus secționat, avînd : $Z=24$, $2p=6$, $q=1^1/_3$..

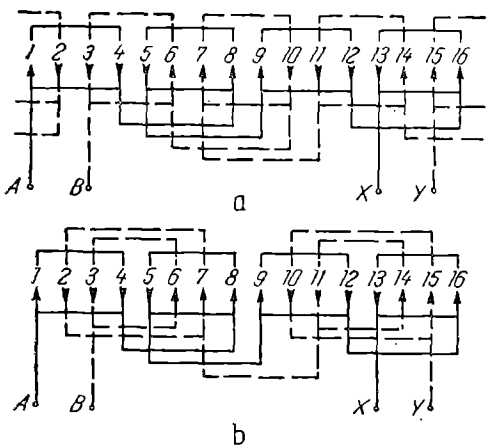


Fig. 5.66. Înfășurare bifazată, în două etaje, avînd $Z=16$. $2p=4$, $q=2$:

a — pentru indus nesecționat; *b* — pentru indus secționat.

Mai recent, statoarele secționate se echipează cu înfășurări obișnuite, asigurîndu-se astfel o mai bună utilizare a spațiului înfășurării în părțile frontale ; în aceste cazuri porțiunile de înfășurare din apropierea planului de îmbinare, se dispun în crestături după ce se montează statorul.

a. 8. Înfășurări în două coroane, din bobine egale

Înfășurările în două coroane, din bobine egale sînt înfășurări în lanț ; la acestea, pasul bobinelor exprimat în număr de crestături este impar, iar în crestături se succed laturi de bobine de ducere cu laturi de întoarcere.

Din punct de vedere constructiv deosebirea dintre înfășurările în două coroane și înfășurările în coroană de bobine egale apare în dispunerea părților frontale ale bobinelor. Dispunerea înfășurării în două coroane în părțile frontale necesită o succesiune diferită în introducerea laturilor de bobine în crestături în comparație cu succesiunea folosită la înfășurările în lanț într-o singură coroană. La înfășurările în două coroane se introduc mai întîi în crestături laturile bobinelor

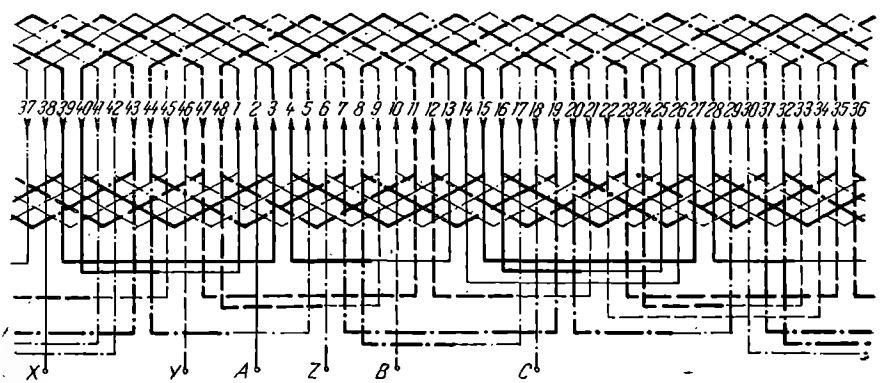


Fig. 5.67. Schema unei înfășurări trifazate, în două coroane din bobine egale, avînd : $Z=48$, $2p=4$, $2=4$.

ale căror părți frontale formează prima coroană și apoi celelalte bobine ale căror părți frontale se dispun în a doua coroană ; întreaga înfășurare apare egal împărțită în cele două coroane.

În fig. 5.67 este reprezentată o înfășurare în două coroane avînd $z=48$; $2p=4$, $m=3$. Cele două jumătăți ale înfășurării sînt reprezentate cu linii de grosimi diferite. De remarcat, că prima jumătate a în-

fășurării ocupă crestăturile *1—2, 5—6, 9—10* etc., iar a doua jumătate, crestăturile *3—4, 7—8, 11—12* etc.; decalajul constructiv dintre cele două jumătăți de înfășurare este $y = 2$ crestături.

La aceste înfășurări, datorită faptului că cele două coroane sînt suprapuse decalat, în părțile frontale apare o dispunere a înfășurării sub formă de grătar ceea ce determină o sporire considerabilă a suprafeței utile de răcire a înfășurării ventilată interior.

La înfășurările în două coroane, căile de curent ale fazelor rezultă identice numai dacă raportul $\left(\frac{pq}{2a}\right)$ este număr întreg, a fiind numărul de căi de curent ale înfășurării; raportul $\frac{pq}{2}$ exprimă numărul de bobine dintr-o coroană, aparținînd aceleiași faze.

Înfășurările într-un strat, cu șase zone, în două coroane, pot fi numai cu pas scurtat (sau lungit) pentru q par și cu pas diametral pentru q impar. Pentru aceste înfășurări, factorul de înfășurare se calculează după tabela 5.4, cu relațiile de la punctul 6 pentru q par și cu cele de la punctul 3 pentru q impar.

b. *Înfășurări cu q întreg>1, cu intercalarea fazelor*

Spre deosebire de înfășurările cu șase zone care se caracterizează prin aceea că q laturi de bobine ce aparțin unei faze pe pol sînt dispuse în crestături alăturate, la înfășurările cu intercalarea fazelor anumite laturi de bobine aparținînd unei faze sînt intercalate cu laturi de bobine aparținînd celorlalte faze, de unde și denumirea de înfășurări cu intercalarea fazelor.

Dacă de exemplu la înfășurările în două etaje se intercalează între ele laturi marginale fie din exteriorul grupelor de bobine vecine, fie din interiorul lor, se realizează o intercalare unilaterală; dacă se intercalează laturi marginale atît din exteriorul grupei de bobine cît și din interior, se obține o intercalare bilaterală.

După numărul de laturi de bobine intercalate, într-o parte a grupei de bobine rezultă intercalare simplă cînd se intercalează cîte o latură din fiecare grupă, intercalare dublă, cînd se intercalează cîte două laturi din fiecare grupă ș. a. m. d. La înfășurările cu $q=2$ se pot obține numai intercalări simple, iar la înfășurările cu $q>2$ se pot obține intercalări simple, duble etc. și respectiv diferite combinații între intercalările unilaterale și bilaterale.

La înfășurările cu intercalarea fazelor este posibil ca în curba tensiunilor să fie mai bine suprimate anumite armonici și ca urmare

scad pierderile electrice și magnetice îmbunătățindu-se astfel randamentul mașinilor electrice echipate cu astfel de înfășurări.

Intercalarea fazelor se poate aplica tuturor tipurilor de înfășurări având $q>1$.

În fig. 5.68 este reprezentată schema unei înfășurări în două etaje, cu șase zone în fig. 5.68, *a*, cu *p* intercalare unilaterală simplă a fazelor în fig. 5.68, *b* și cu intercalare bilaterală simplă în fig. 5.68, *c*, iar în tabela 5.5 sînt date valorile factorilor de înfășurare de ordin impar pentru cele trei scheme.

Tabela 5.5

Valorile factorilor de înfășurare de ordin impar pentru schemele din fig. 5.68

Ordinul armonicii / Înfășurarea	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
Fără intercalare (cu șase zone)	0,958	0,653	0,205	0,158	0,271	0,126	0,126	0,271	0,158	0,205
Cu intercalare unilaterală simplă	0,925	0,461	0.053	0,041	0,191	0,122	0,122	0,191	0,041	0,053
Cu intercalare laterală simplă	0,892	0,271	0,099	0,239	0,653	0,370	0,370	0,653	0,239	0,099

Din această tabelă rezultă că pentru înfășurările trifazate având $q=4$, armonicile sînt micșorate apreciabil în cazul intercalării unilaterale simple.

Examinînd schemele înfășurării din fig. 5.68 se deduce modul de obținere a diferitelor intercalări la înfășurările în două etaje și anume: pentru intercalarea simplă fie că se reduce cu două crestături pasul bobinei din interiorul grupei, fie că se mărește cu două crestături pasul bobinei din exteriorul grupei ; pentru intercalarea bilaterală simplă, se micșorează cu două crestături pasul bobinei interioare din grupă și se mărește cu două crestături pasul bobinei exterioare din grupă.

La înfășurările în trei etaje cu bobine concentrice în grupe și la înfășurările în coroană de grupe de bobine concentrice cu $2p$ grupe

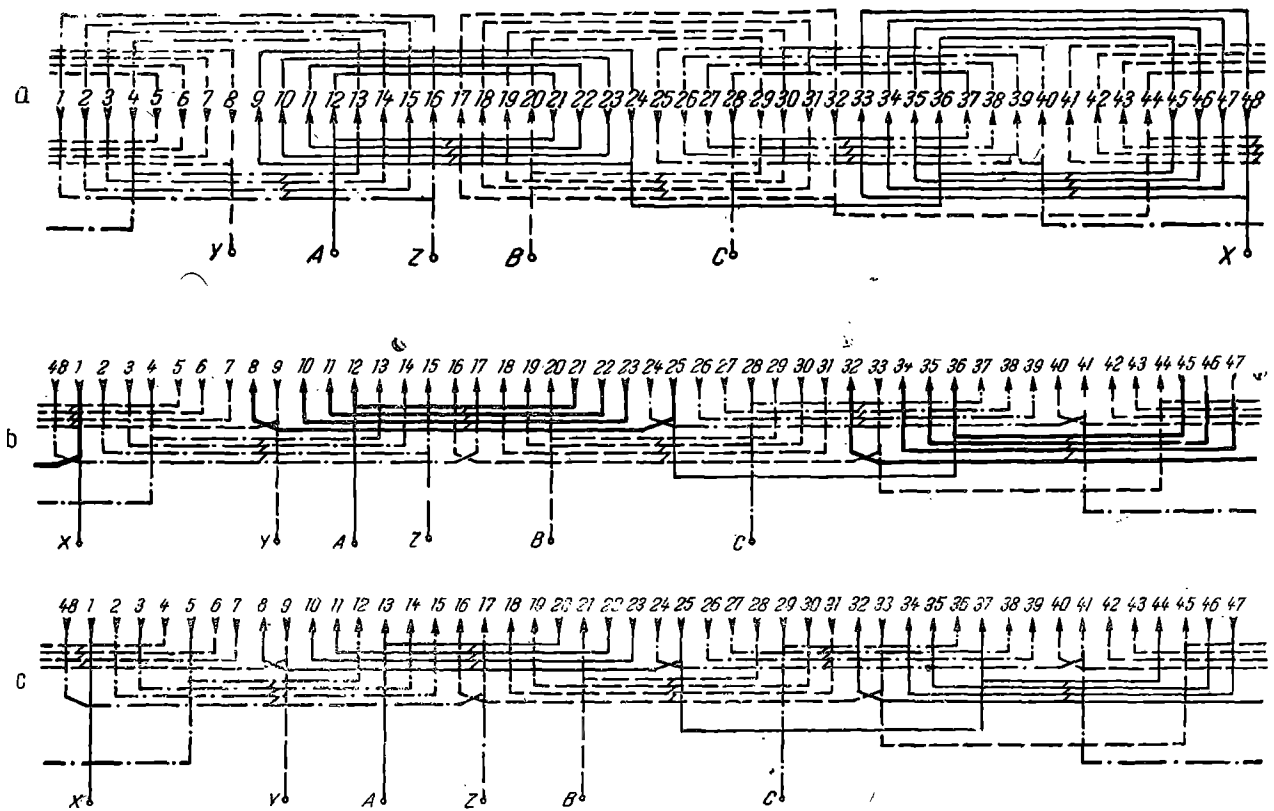


Fig. 5.68. Schemele unor înfăşurări trifazate, în două etaje, avînd $Z=48$, $2p=4$, $q=4$:
a — cu şase zone; *b* — cu o intercalare unilaterală simplă; *c* — cu o intercalare bilaterală simplă.

pe fază, prin reducerea deschiderii cu două crestături a bobinei interioare din grupă se obține o intercalare bilaterală simplă. În fig. 5.69 este reprezentată schema unei înfășurări, trifazată, bipolară, cu același număr de crestături ca și înfășurările reprezentate în fig. 5.50 și fig. 5.42, *a*.

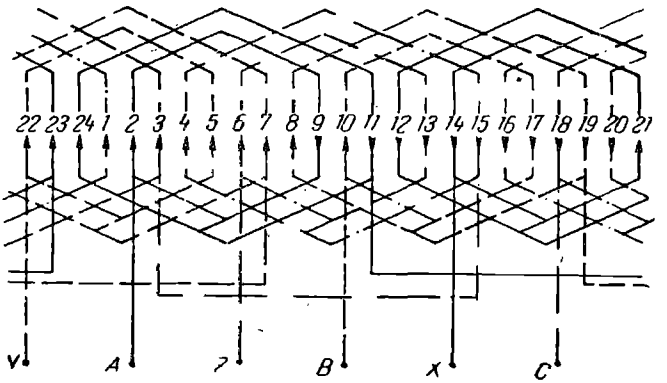


Fig. 5.69. Schema unei înfășurări, trifazată, în coroană de grupe de bobine concentrice cu intercalare bilaterală simplă a fazelor, având $Z=24$, $2p=2$, $q=4$.

Intercalarea fazelor la înfășurările în lanț se obține prin reducerea deschiderii bobinelor componente ; schema unei înfășurări trifazate, tetrapolară, cu același număr de crestături Z, ca și înfășurarea cu șase zone din fig. 5.57, este reprezentată în fig. 5.70.

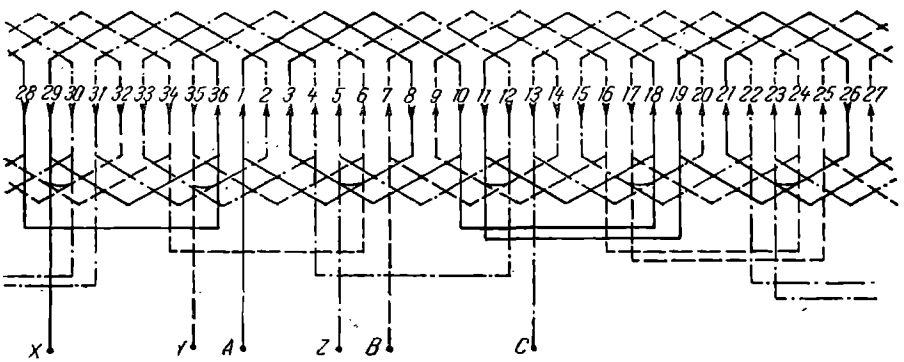


Fig. 5.70. Schema unei înfășurări, trifazată, în coroană de bobine egale, cu intercalare unilaterală simplă a fazelor, având $Z=36$, $2p=4$, $q=3$.

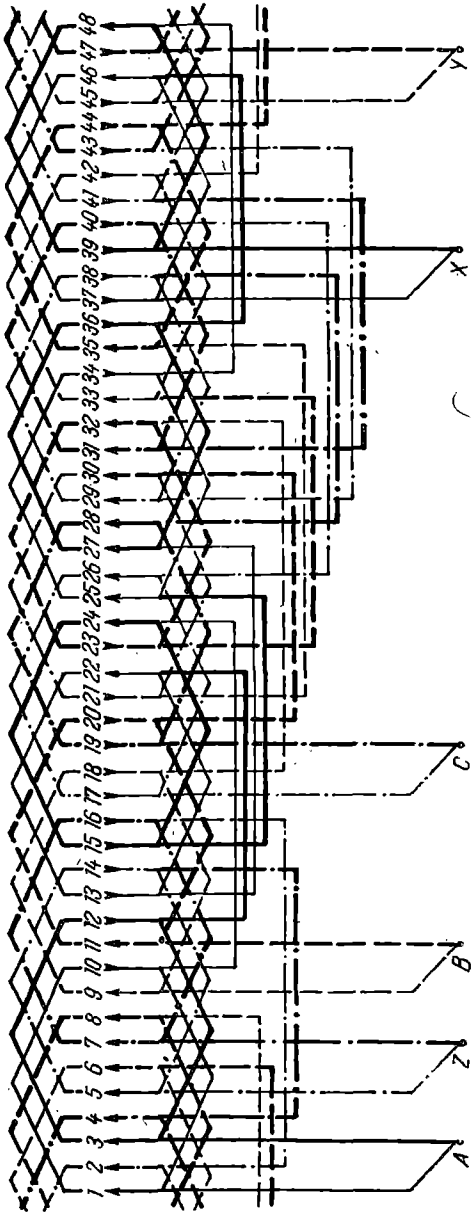


Fig. 5.71. Schema unei înfășurări, trifazată, în două coroane de bobine egale, cu intercalare bilaterală simplă, având $Z=48$, $2p=4$, $q=4$, $a=2$.

În fig. 5.71 este reprezentată schema înfășurării în două coroane, cu intercalare bilaterală simplă a fazelor, obținută din înfășurarea similară cu șase zone din fig. 5.67, prin reducerea cu două crestături a pasului bobinelor componente.

Înfășurările constituite din pm grupe de bobine având $q=2$, devin înfășurări în lanț dacă se execută ca înfășurări cu intercalarea fazelor. În fig. 5.72 este reprezentată schema unei înfășurări cu intercalare unilaterală, obținută prin reducerea deschiderii cu două crestături a bobinelor interioare din grupe. Asemenea înfășurări se pot executa și din bobine identice avînd pasul egal cu deschiderea medie a bobinelor din grupa de bobine ; în fig. 5.73 este reprezentată schema echivalentă a înfășurării din fig. 5.72 executată cu bobine egale. Factorul de înfășurare are aceeași

valoare în cazul schemelor din fig. 5.72 și 5.73 deoarece înfășurările fazelor au o dispunere similară în crestături în cele două scheme.

De subliniat este faptul că în cazul înfășurărilor cu intercalare unilaterală a fazelor, în curba tensiunii electromotoare apar și armo-

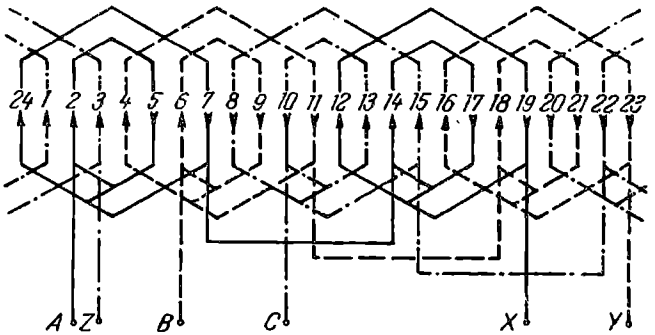


Fig. 5.72. Schema unei înfășurări, trifazată, în coroană de grupe de bobine, cu intercalare unilaterală a fazelor, având $Z=24$, $2p=4$, $q=2$.

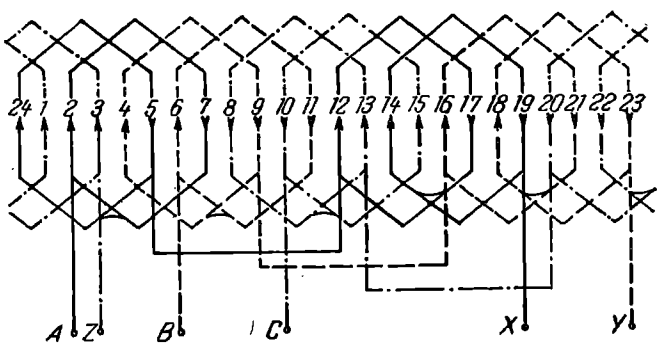


Fig. 5.73. Schema unei înfășurări, trifazată, în coroană de bobine egale, cu intercalare unilaterală a fazelor, având $Z=24$, $2p=4$, $q=2$.

nice de ordin par, iar factorii de înfășurare corespunzători acestor armonice nu pot fi calculați cu relațiile din tabela 5.4 care corespund armonicilor impare.

c. *Înfășurări cu număr fracționar de crestături pe pol și fază*

La înfășurările într-un strat cu un număr fracționar de crestături pe pol și fază, numărul total de bobine N_{tb} și numărul de bobine pe fază N_{bf} se exprimă, în funcție de numărul crestăturilor bobinate Z_b prin relațiile

$$N_{tb} = \frac{Z_b}{2} = \text{număr întreg} \tag{5.29'}$$

$$N_{bf} = \frac{Z_b}{2m} = \text{număr întreg}. \tag{5.30}$$

În practică se întîlnesc înfășurări cu număr fracționar de crestături pe pol și fază cu toate crestăturile bobinate și înfășurări cu un anumit număr de crestături rămase libere ; în primul caz $Z_b = Z$, iar în al doilea $Z_b < Z$, Z fiind numărul total de crestături.

La toate înfășurările, indiferent dacă sînt sau nu bobinate toate crestăturile, numărul de crestături pe pol și fază q se calculează raportînd numărul total de crestături Z la produsul dintre numărul de poli $2p$ și numărul de faze m, ale înfășurării (vezi relația 5.13).

După numărul total de grupe de bobine N_{tgrb} ale înfășurărilor cu q fracționar, și respectiv după numărul de grupe de bobine pe fază N_{grbf}, deosebim înfășurări la care :

$$\left.\begin{aligned}
&1.\ N_{tgrb} = 2pm \longrightarrow N_{grbf} = 2p \\
&2.\ pm < N_{tgrb} < 2pm \longrightarrow p < N_{grbf} < 2p \\
&3.\ N_{tgrb} = pm \longrightarrow N_{grbf} = pm \\
&4.\ N_{tgrb} < pm \longrightarrow N_{grbf} < p
\end{aligned}\right\} \tag{5.33}$$

Pentru înfășurările de la punctele 1, 2 și 3, relația (5.33), avem $q > 1$, iar pentru cele de la punctul 4, $q < 1$. În cazul înfășurărilor cu $q > 1$, grupele de bobine sînt constituite fiecare din una sau mai multe bobine (în funcție de valoarea lui q și de tipul înfășurării), iar în cazul înfășurărilor cu q fracționar < 1, grupele sînt constituite fiecare din cîte o bobină.

Legăturile între grupele de bobine pentru obținerea înfășurării de fază sînt diferite pentru cele patru tipuri de înfășurări, în funcție de numărul grupelor de bobine pe fază și de poziția relativă a acestora.

Caracteristice pentru înfășurările cu număr fracționar de crestături pe pol și fază sînt atît poziția în cîmpul magnetic a grupelor succesive de bobine din înfășurarea aceleiași faze, cît și problema identității grupelor de bobine ; astfel, pot apărea următoarele cazuri :

— înfășurări la care grupele de bobine pe fază nu au toate același număr de bobine ;

— înfășurări la care grupele de bobine pe fază au același număr de bobine, dar poziția grupelor de bobine succesive în circuitul înfășurării este diferită în cîmpul magnetic ;

— înfășurările la care grupele de bobine pe fază au număr diferit de bobine și poziția lor în cîmpul magnetic este diferită.

Datorită construcției înfășurărilor cu număr fracționar de crestături pe pol și fază, factorii de înfășurare corespunzători armonicilor superioare sînt în general micșorați într-o măsură mai mare decît factorul de înfășurare al fundamentalei, astfel încît curba tensiunilor electromotoare induse se apropie mai mult de o sinusoidă decît în cazul înfășurărilor cu număr întreg de crestături pe pol și fază, care au aproximativ același număr de crestături.

Înfășurări trifazate cu număr fracționar de crestături pe pol și fază, cu toate crestăturile bobinate

În cazul acestor înfășurări numărul de crestături pe pol și fază se poate scrie sub forma

$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{N_{bf}}{p} = n + \frac{d}{p}, \tag{5.34}$$

în care n este un număr întreg (inclusiv valoarea zero), d este un număr întreg mai mic decît p, iar numărul de bobine pe fază N_{bf} se poate scrie astfel

$$N_{bf} = np + d. \tag{5.30'}$$

Înfășurările într-un strat cu q fracționar, trebuie să satisfacă următoarele condiții :

$$N_{bf} = \frac{Z}{2m} = \text{număr întreg} ; \tag{5.30}$$

$$\frac{2N_{bf}}{t} = \text{număr întreg}, \tag{5.35}$$

în care N_{bf} este numărul de bobine ale înfășurării unei faze, m numărul de faze, iar t cel mai mare divizor comun al numărului de crestături Z și al numărului de perechi de poli p. Aceste condiții derivă din necesitatea de a executa înfășurarea simetrică în privința numărului de bobine pe fază, iar tensiunile induse pe faze să fie defazate între ele succesiv cu $\frac{2\pi}{m}$.

Atunci cînd partea fracționară a numărului de crestături pe pol și fază dat de relația (5.34) este formată din numere prime între ele

(fracția nu se mai poate simplifica), se obțin înfășurările de bază denumite înfășurări primitive sau înfășurări elementare.

Înfășurările la care raportul $\frac{d}{p}$ se poate simplifica, adică d și p au un divizor comun, sînt înfășurări compuse sau derivate, constituite dintr-un număr de înfășurări elementare egal cu divizorul comun a lui d și p.

Spre exemplu, înfășurarea trifazată tetrapolară ($p=2$) cu $q=n+\frac{d}{p}=1+\frac{1}{2}$ este o înfășurare elementară avînd $Z=2pmq=2\cdot 2\cdot 3\cdot 1{,}5=18$ crestături, iar înfășurarea compusă constituită din trei asemenea înfășurări elementare va avea :

$$p=6\,;\ Z=54\,;\ q=\frac{N_{bf}}{p}=\frac{\frac{Z}{2m}}{p}=\frac{\frac{54}{2\cdot 3}}{6}=\frac{9}{6}=1+\frac{3}{6}\,;$$

numărătorul și numitorul părții fracționare a lui q pentru înfășurarea compusă are divizorul comun 3.

În cele ce urmează vom studia numai înfășurări elementare, înfășurările compuse obținîndu-se din cele elementare.

Înfășurări la care numărul de crestături Z și numărul de perechi de poli p sînt prime între ele ; p impar

La aceste înfășurări, numărul de crestături Z și numărul de perechi de poli p nu au divizor comun, adică $t=1$. În cazul acestora, dacă numărul de bobine pe fază N_{bf} este impar, înfășurarea fazei se poate realiza cu o singură cale de curent, iar dacă N_{bf} este par, se pot obține pe fază două căi de curent. Înfășurările trifazate, cu cinci perechi de poli, cu cîte o singură cale de curent pe fază, sînt reprezentate în fig. 5.74 și 5.75 ; înfășurarea din fig. 5.74 are $q<1$, iar cele din fig. 5.75 au $q>1$.

Înfășurarea din fig. 5.74 este constituită din bobine cu aceeași deschidere, pasul bobinelor $y=2$ crestături este mai mic decît pasul polar $\tau=2{,}4$ crestături, iar numărul de bobine pe fază $N_{bf}<p$; $N_{bf}=4$. Repartizarea bobinelor în înfășurările diferitelor faze se face în felul următor : se consideră o bobină luată arbitrar ca aparținînd înfășurării A—X a primei faze, de exemplu, bobina care are laturile active în crestăturile *1* și *3*. În crestătura decalată cu $\left(\frac{Z}{3p}+k\frac{Z}{2p}\right)$ crestături față de crestătura *1*, se găsește o latură a unei bobine aparținînd înfășurării BY a celei de a doua faze (k va lua prima valoare începînd de la zero, 1, 2, 3 ... pentru care expresia din paranteză va da un număr întreg de crestături). Pentru $k=1$ se obțin 4 crestături, deci

în crestătura (1+4) adică în crestătura 5 se găsește o latură a bobinei ce aparține înfășurării *B—Y*. La același decalaj față de crestătura 5 se găsește o latură de bobină în crestătura *9* ce aparține înfășurării *C—Z*, bobina din crestăturile *9* și *11*. Următoarele bobine decalate succesiv cu 4 crestături aparțin în ordine fazelor *A—X* (*13—15*), *B—Y* (*17—19*), *C—Z* (*21—23*).

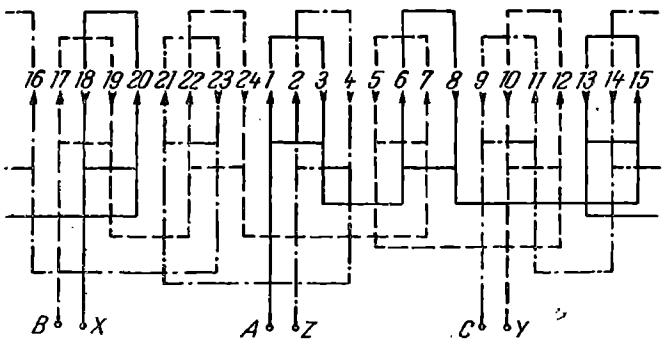
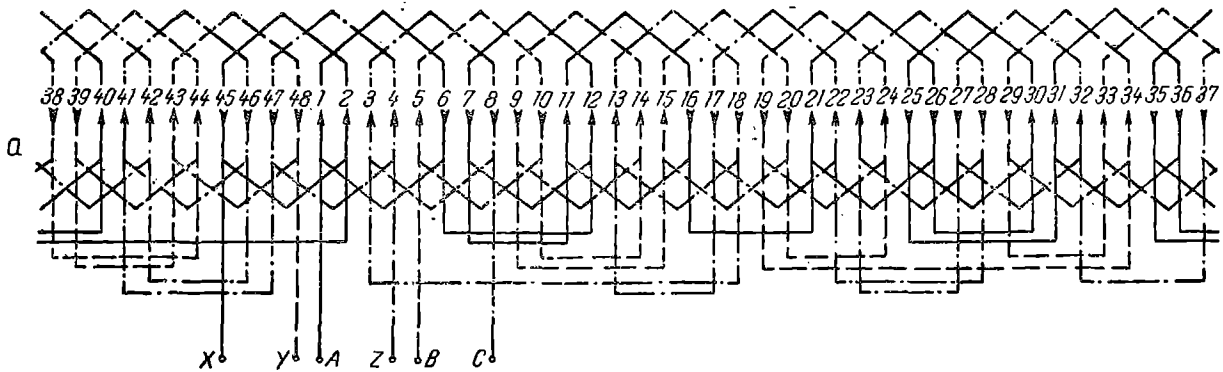


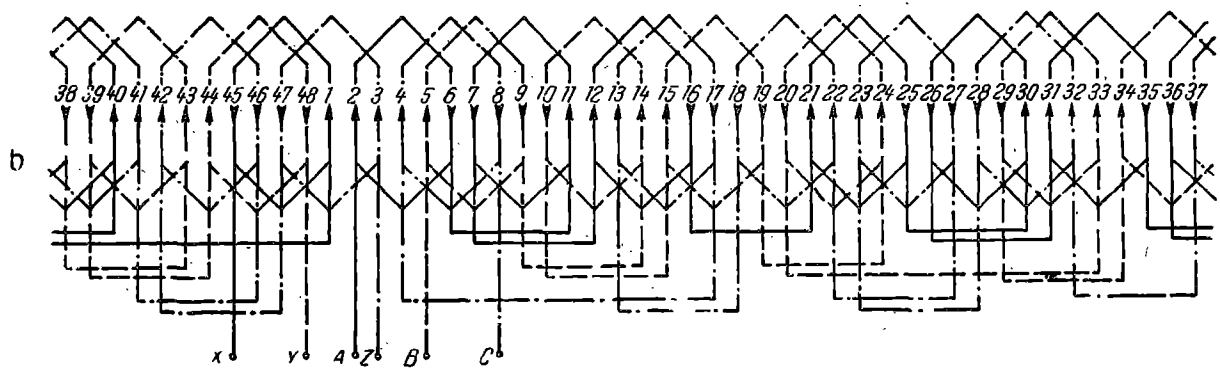
Fig. 5.74. Schema unei înfășurări, trifazată, în două etaje, având $Z=24$, $2p=10$, $q=4/5$.

S-au împărțit astfel pe fază bobinele din primul etaj, ale căror laturi active ocupă, în exemplul considerat, crestăturile impare.

Bobinele ale căror părți frontale sînt dispuse în al doilea etaj, și care în exemplul considerat ocupă crestăturile pare, se împart pe faze în același mod ca și cele din primul etaj, esențială fiind alegerea primei bobine. Bobina cu laturile active în crestăturile *6* și *8* este decalată față de bobina din crestăturile *1* și *3* cu cinci crestături, adică cu aproximativ doi pași polari, $2\tau=4{,}8$ crestături. Cele două bobine ocupînd aproximativ aceeași poziție în cîmp aparțin înfășurării *A—X* a aceleiași faze. În crestătura *10*, decalată cu patru crestături față de crestătura *6*, se găsește o latură a bobinei din înfășurarea *B—Y* (*10—12*) și în mod succesiv celelalte bobine aparțin în ordinea înfășurărilor fazelor succesive *C—Z* (*14—16*), *A—X* (*18—20*), *B—Y* (*22—24*), *C—Z* (*2—4*).

Legarea între ele a bobinelor aparținînd înfășurării unei faze se face în corespondență cu decalajul relativ dintre bobinele succesive; cînd bobinele sînt decalate cu aproximativ un multiplu par de pași polari, legătura se face sfîrșit cu început sau început cu sfîrșit, iar pentru decalaj multiplu impar de pași polari se leagă sfîrșit cu sfîrșit sau început cu început. Bobina din crestăturile *6* și *8* este decalată cu cinci crestături (aproximativ cu $2\tau=4{,}8$ crestături) față de bobina


a
38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37
X
Y
A
Z
B
C


b
38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37
X
Y
A
Z
B
C

cu laturile în crestăturile *1* și *3* și s-a legat sfîrșitul cu începutul ; bobina *13—15* este decalată cu șapte crestături (aproximativ cu $3\tau=7{,}2$ crestături) față de bobina *6—8*, și s-a legat sfîrșitul cu sfîrșitul, iar bobina *18—20* este decalată cu cinci crestături (aproximativ $2\tau=4{,}8$ crestături) față de bobina *13—15*, și s-a legat începutul cu sfîrșitul. În mod asemănător se leagă între ele și bobinele celorlalte înfășurări.

Pasul între începuturile, respectiv sfîrșiturile înfășurărilor fazelor succesive se calculează cu relația 5.2 în care k are valoarea pentru care se obține y_{fs} un număr întreg de crestături. În exemplul din fig. 5.74 pentru $k=3$ se obține $y_{fs}=16$, adică începutul B este în crestătura *(1+16)*, dacă începutul A este în crestătura *1*. Peste alte 16 crestături față de crestătura *17*, adică în crestătura *9* se va găsi începutul C al înfășurării celei de a treia faze. Același decalaj se obține și între sfîrșiturile X, Y, Z ale înfășurărilor fazelor succesive.

În cazul înfășurării din figura 5.75, *a* și *b* numărul grupelor de bobine pe fază este cuprins între p și $2p$ adică $p<N_{grbf}<2p$; în acest caz $N_{grbf}=8$, fiecare grupă fiind constituită dintr-o bobină.

Pasul y al bobinelor este egal cu cinci crestături în fig. 5.75, *a*.

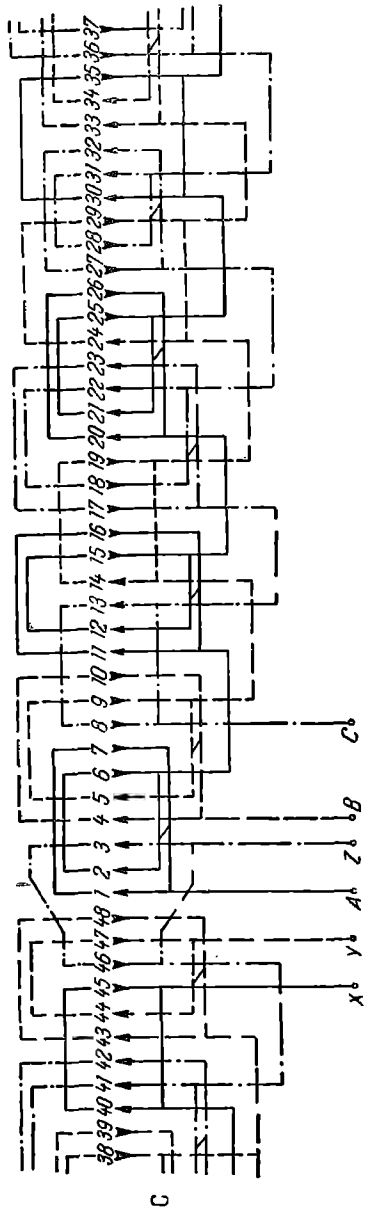


Fig. 5.75. Schema unei înfășurări, trifazată, avînd : $Z=48$, $2p=10$, $q=1^{3}/_{5}$:
a — în coroană simetrică de bobine egale, $k_{w_1}=0{,}957$; *b* — în coroană nesimetrică de bobine egale, $k_{w_1}=0{,}957$; *c* — în două etaje, cu intercalarea fazelor, $k_{w_1}=0{,}947$.

și cu patru crestături în fig. 5.75, *b*. În ambele scheme, înfășurările acelorași faze au o dispunere identică în crestături deci factorii de înfășurare în cele două cazuri sînt aceiași și au valoarea maximă ; ei se calculează cu relația 8, tabela 5.4.

În cazul schemei din fig. 5.75, *a*, cu bobine avînd deschiderea $y=5$ crestături, se obține o repartizare uniformă în coroană a părților frontale ale bobinelor, iar în cazul schemei din fig. 5.75, *b* această repartizare este mai puțin uniformă ; în schimb, lungimea părților frontale ale bobinelor este mai redusă.

În fig. 5.75, c înfășurarea este în două etaje ; în acest caz numărul grupelor de bobine pe fază este egal cu p; $N_{grbf}=5$, trei grupe fiind constituite din cîte două bobine, iar două grupe din cîte o bobină. Grupele de bobine ale fazei sînt decalate succesiv cu aproximativ un dublu pas polar, motiv pentru care legăturile între grupe sînt sfîrșit cu început. În cazul schemelor din fig. 5.75, *a* și *b*, legăturile între grupele succesive sînt sfîrșit cu început pentru grupele decalate cu aproximativ un dublu pas polar și sfîrșit cu sfîrșit sau început cu început pentru bobinele decalate cu aproximativ un pas polar. .

De remarcat că înfășurările fazelor în schema din fig. 5.75, c au o dispunere diferită în crestături față de schemele din fig. 5.75, *a* și *b* ; corespunzător acestei dispuneri, factorul de înfășurare scade datorită apariției intercalării fazelor. La înfășurările cu q fracționar intercalarea fazelor se folosește numai atunci cînd numărul de crestături pe pol și fază este mai mare decît 1. În cazul acestor înfășurări, cînd laturile pozitive și respectiv negative ale bobinelor unei înfășurări de fază sînt dispuse corespunzător în crestăturile care au pozițiile cele mai apropiate în cîmpul magnetic, înfășurările au factorul de înfășurare maxim și se calculează cu relația 8, tabela 5.4, de exemplu înfășurările din fig. 5.74, 5.75, *a* și *b*.

În cazul înfășurării din fig. 5.75 pasul între începuturile și respectiv sfîrșiturile fazelor succesive este diferit de pasul $\frac{Z}{3p}$ corespunzător unghiului de defazaj dintre fazele succesive ; în exemplul dat pașii y_{fs} s-au luat egali cu 3 și respectiv cu 4 crestături. Dacă în expresia 5.2 se dă lui k valoarea 3, se obține pentru pasul y_{fs} la înfășurarea din fig. 5.75 valoarea 32 crestături ceea ce corespunde exact defazajului dintre fazele succesive. Corespunzător acestui pas, începuturile și sfîrșiturile fazelor succesive ar putea fi scoase astfel : *A* din crestătura *1*, *B* din *33*, *C* din *17*, *X* din *45*, *Y* din *29* și *Z* din *13*.

În această situație defazajul corespunzător unghiului de fază este exprimat printr-un număr întreg de crestături, iar capetele de legătură ale înfășurării fazelor sînt scoase din crestături echidistante.

Înfășurări la care numărul de crestături Z și numărul de perechi de poli p au un divizor comun $t=2$

În cazul acestor înfășurări cîte două crestături ocupă simultan aceeași poziție în cîmpul magnetic ; la aceste înfășurări numărul de bobine pe faza N_{bf} este întotdeauna impar, N_{bf} și p sînt prime între ele, adică p este par.

În figurile 5.76, 5.77 și 5.78 sînt reprezentate schemele unor astfel de înfășurări avînd un număr impar de bobine pe fază și p par. De remarcat că în cazul acestora grupele succesive de bobine ale aceleiași faze sînt decalate între ele exact cu un dublu pas polar, grupele însă nu au toate același număr de bobine. În toate aceste scheme numărul de grupe de bobine pe fază este egal cu p și în corespondență cu aceasta legăturile între grupele de bobine sînt făcute sfîrșit cu început. Pasul y_{fs} între începuturile și respectiv sfîrșiturile înfășurărilor fazelor succesive corespunde unghiului de defazaj numai în schema din fig. 5.76 ; în celelalte două sheme pașii adoptați se abat de la pasul corespunzător unghiului de defazaj cu cîte o jumătate de crestătură.

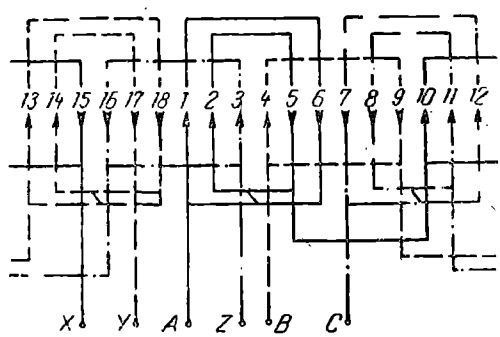


Fig. 5.76. Schema unei înfășurări, trifazată, în două etaje, avînd $Z=18$, $2p=2$, $q=1\frac{1}{2}$.

La înfășurările la care numărul de crestături Z și numărul de perechi de poli p au un divizor comun $t=2$, factorul de înfășurare se calculează cu ajutorul expresiilor de la punctul 9 din tabela 5.4 unde k_d este numit factor de deplasare a zonelor. Expresiile de la punctul 9 din tabela 5.4 au fost stabilite în ipoteza obținerii unei valori maxime pentru factorul de înfășurare. În cazul în care se adoptă o deplasare mai mare a zonelor sau se realizează intercalări ale fazelor, factorul de înfășurare pentru fundamentală scade, dar anumite armonici se pot reduce într-o măsură mult mai mare și curba tensiunii electromotoare indusă în înfășurare se apropie mai mult de sinusoidă.

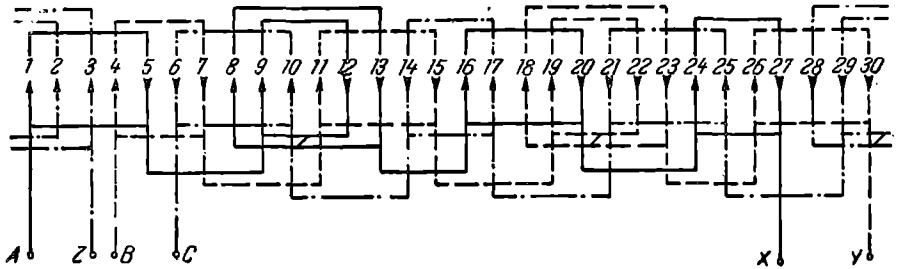


Fig. 5.77. Schema unei înfășurări, trifazată, în două etaje, avînd $Z=30$, $2p=8$, $q=1\frac{1}{4}$.

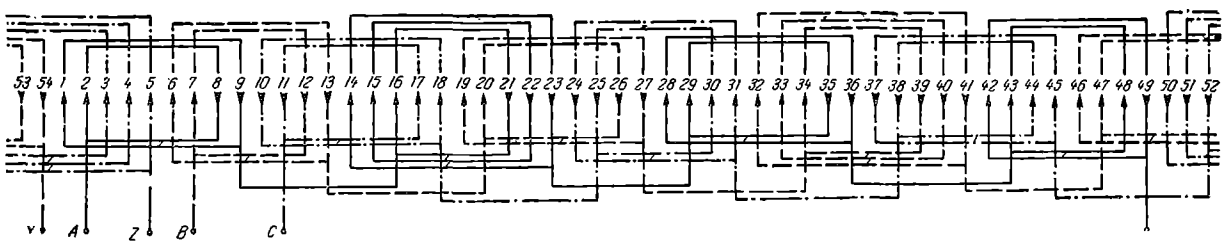


Fig. 5.78. Schema unei înfășurări, trifazată, în două etaje, avînd $Z=54$, $2p=8$, $q=2\frac{1}{4}$.

Notăm cu Z_l numărul crestăturilor rămase libere și ne limităm la cazul cel mai important în practică, la care

$$Z_l = 3. \tag{5.36}$$

Numărul total de crestături se exprimă în funcție de numărul de bobine pe faza N_{bf} și de numărul de crestături rămase libere Z_l, prin relația

$$Z = 6\,N_{bf} + Z_l. \tag{5.37}$$

Dacă t este cel mai mare divizor comun pe care îl admit numărul de crestături Z și numărul de perechi de poli p, atunci înfășurările trifazate cu q fracționar, cu trei crestături libere, trebuie să îndeplinească condițiile

$$\frac{6\,N_{bf}+3}{mt} = \frac{2\,N_{bf}+1}{t} = \text{număr întreg}; \tag{5.38}$$

$$\frac{6\,N_{bf}+3}{2pm} = \frac{6\,N_{bf}+3}{6p} = \frac{2\,N_{bf}+1}{2p} = q = \text{număr fracționar}, \tag{5.39}$$

determinate la fel ca în cazul înfășurărilor cu q fracționar și avînd toate crestăturile bobinate.

La înfășurările trifazate cu trei crestături nebobinate ($Z_l = 3$), numărul total de crestături Z, conform relației (5.37), este impar, numerele posibile de crestături fiind 9, 15, 21, 27, 33, 39, 45 ... În practică prezintă importanță numai înfășurările cu $p = 3$ sau multiplu de 3, în cazul cărora, conform relației (5.38), t este impar și mai mare decît 1. Înfășurările cele mai des întîlnite cu crestături libere cu $p = 3$ au $p = t$. Prin urmare, la aceste înfășurări, cîte trei crestături au aceeași fază. Schemele unor astfel de înfășurări sînt reprezentate în fig. 5.79 și 5.80.

În fig. 5.79 cele trei crestături rămase libere *20, 23* și *26* sînt decalate relativ cu 120° electrice, în acest caz factorul de înfășurare k_{w_1} are valoarea maximă.

La înfășurarea din fig. 5.80 nu se găsesc trei crestături decalate la 120° electrice. În schema din fig. 5.80, *a*, crestăturile rămase libere *13, 26* și *39* au aceeași fază în cîmpul magnetic, iar factorul de înfășurare k_{w_1} are valoare mai mică decît în cazul înfășurărilor din fig. 5.80, *b* și 5.80, c (acestea din urmă au același factor de înfășurare). În celelalte două scheme din fig. 5.80, *b* și *c*, crestăturile rămase libere sînt decalate între ele aproape la 120° electrice.

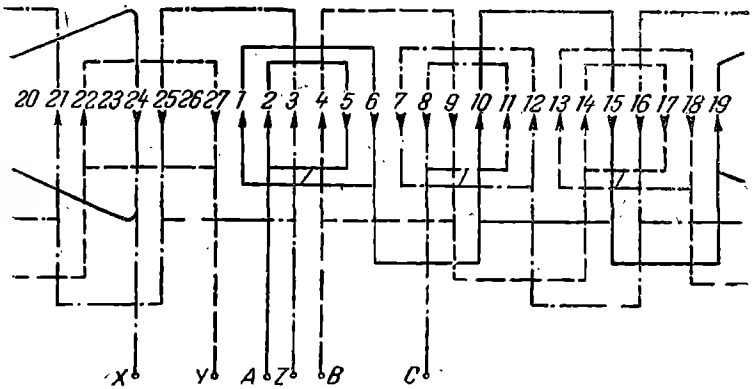


Fig. 5.79. Schema unei înfășurări, trifazată, cu număr fracționar de crestături pe pol și fază, având $Z=27$, $Z_1=3$, $2p=6$, $q=1\frac{1}{2}$.

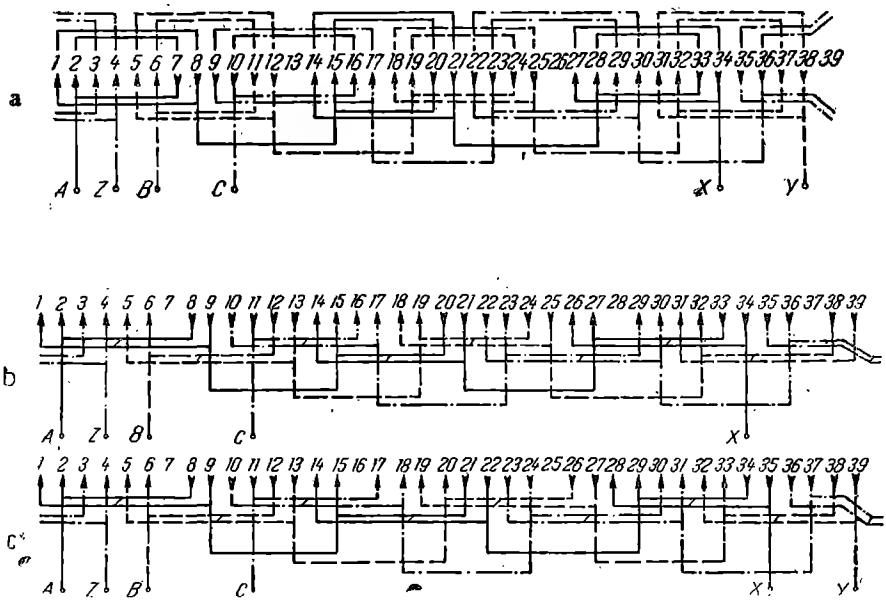


Fig. 5.80. Schema unei înfășurări, trifazată, cu număr fracționar de crestături pe pol și fază, având $Z=39$, $Z_1=3$, $2p=6$, $q=1^2/_3$.

De observat că în cazul schemei din fig. 5.80, *a* toate bobinele aparținînd fazei 3 au deschiderea mai mare cu o crestătură decît bobinele celorlalte faze. În fig. 5.80, *b* și c, un număr egal de bobine din toate înfășurările de fază au pasul lungit cu o crestătură ; ele sînt repartizate inegal în cele două etaje în fig. 5.80, *b* și egal în fig. 5.80, c.

În tabela 5.6 sînt grupați factorii de înfășurare ai armonicilor impare pînă la ordinul 19, pentru înfășurări trifazate cu trei crestături libere și anume pentru înfășurări avînd $p = 3$.

Tabela 5.6

Factorii de înfășurare $k_{w\nu}$ pentru înfășurări trifazate cu număr fracționar de crestături pe pol și fază, într-un strat, cu trei crestături libere, pentru $p=3$

Z	N_{bf}	q	$K_{w\nu}$ pentru $\nu =$						
			1	5	7	11	13	17	19
27	4	$1\frac{1}{2}$	0,955	0,266	0,040	0,040	0,226	0,955	0,955
45	7	$2\frac{1}{2}$	0,958	0,247	0,057	0,110	0,039	0,039	0,110
63	10	$3\frac{1}{2}$	0,957	0,234	0,037	0,113	0,008	0,066	0,032
81	13	$4\frac{1}{2}$	0,957	0,226	0,100	0,111	0,028	0,071	0,022
99	16	$5\frac{1}{2}$	0,957	0,220	0,108	0,108	0,039	0,072	0,010

5.2.4. Înfășurări de curent alternativ în două straturi
Definiție. Număr de bobine, clasificări

Înfășurările de curent alternativ în două straturi sînt constituite din bobine ale căror laturi active de ducere, respectiv de întoarcere ocupă fiecare cîte un strat în crestături.

Numărul total de bobine N_{tb} la înfășurările în două straturi este egal cu numărul de crestături Z, adică

$$N_{tb} = Z, \tag{5.40}$$

iar numărul N_{bf} de bobine pe fază este,

$$N_{bf} = \frac{N_{tb}}{m} = \frac{Z}{m}, \tag{5.41}$$

unde m este numărul de faze.

Numerele N_{tb} și N_{bf} se pot exprima în funcție de numerele de poli $2p$, de crestături pe pol și fază q și de faze m, prin relațiile :

$$N_{tb} = 2pmq \tag{5.42}$$

$$N_{bf} = \frac{2pmq}{m} = 2pq \tag{5.43}$$

Înfășurările în două straturi se pot executa cu mai multe bobine pe crestătură (laturile de ducere, respectiv de întoarcere) fiind așezate alăturat în același strat. În cazul particular al crestăturilor semideschise cu axa deschiderii crestăturii asimetrică față de axa crestăturii, numărul de bobine pe crestătură poate fi egal cu 2 și numerele totale de bobine N_{tb}, și N_{bf} sînt :

$$N_{bt}=2Z \quad \text{și} \quad N_{bf}=\frac{2Z}{m}.$$

Înfășurările în două straturi se pot executa atît pentru valori întregi, cît și pentru valori fracționare ale lui q (cu condiția ca produsul $2pq$ să fie număr întreg). De exemplu, la $p=1$, q poate lua valorile $^1/_2$, 1, $1^1/_2$, 2, $2^1/_2$, 3, $3^1/_2$ etc. ; la $p=2$, q poate lua valorile $^2/_4$, $^3/_4$, 1, $1^1/_4$, $1^2/_4$, $1^3/_4$, 2, $2^1/_4$ etc. ; la $p=3$, q poate lua valorile $^1/_3$, $^2/_3$, 1, $1^1/_3$, $1^2/_3$, 2, $2^1/_3$, $2^2/_3$, 3 etc.

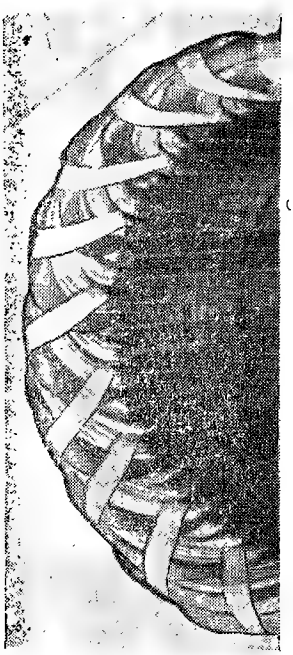


Fig. 5.81. Fotografia unei înfășurări trifazate, în coroana de grupe de bobine concentrice, avînd : $Z=54$; $2p=6$; $q=3$.

După valoarea lui q deosebim înfășurări cu număr întreg de crestături pe pol și fază și înfășurări cu număr fracționar de crestături pe pol și fază.

În cazul înfășurărilor cu q fracționar, grupele de bobine ale înfășurărilor nu au toate același număr de bobine.

În funcție de pasul bobinelor se deosebesc înfășurări cu pas diametral și înfășurări cu pas scurtat. La cele diametrale pasul bobinelor componente sau pasul mediu al bobinelor din grupă în cazul grupelor identice de bobine este egal cu pasul polar ; la înfășurările cu pas scurtat deschiderea medie a bobinelor componente poate fi mai mică sau mai mare decît pasul polar, în cazul general înfășurările în două straturi se utilizează ca înfășurări cu pas scurtat și sînt constituite din bobine cu deschiderea mai mică decît pasul polar.

După modul în care se dispun părțile frontale ale bobinelor sau grupelor de bobine, înfășurările în două straturi sînt :

1. Înfășurări în coroană de grupe de bobine concentrice ; acestea sînt constituite, pentru q întreg, din $2p$ în grupe de bobine, fiecare grupă avînd q bobine concentrice (fig. 5.81).

2. Înfășurări în coroană de bobine egale ; acestea sînt constituite pentru q întreg din $2pmq$ bobine, dispuse alăturat și grupate în $2pm$ grupe cu cîte q bobine fiecare, fig. 5.82.

3. Înfășurări din bobine egale, cu părțile frontale în două coroane formate după suprafețe conice coaxiale, fig. 5.83.

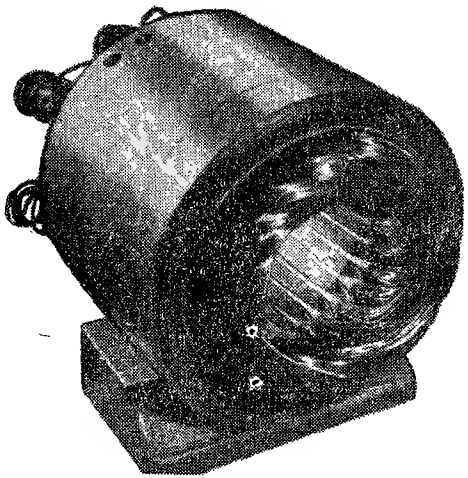


Fig. 5.82. Fotografia unei înfășurări trifazate, în coroana de bobine egale, avînd : $Z=24$; $2p=2$; $q=4$.

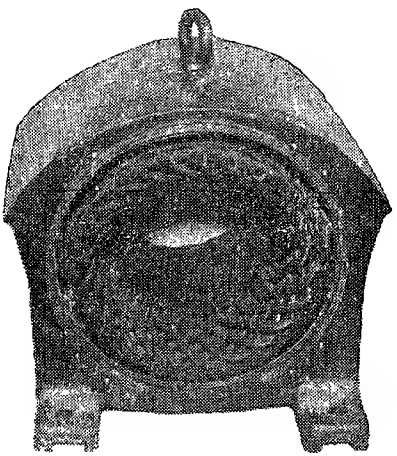


Fig. 5.83. Fotografia unei înfășurări trifazate, în două coroane de bobine egale, avînd : $Z=48$; $2p=4$; $q=4$.

4. Înfășurări în evolventă ; la acestea, părțile frontale ale bobinelor componente se dispun în două (sau în multiplu întreg de două) plane perpendiculare pe axul de rotație al mașinii (fig. 5.84) ; uneori părțile frontale ale bobinelor componente se dispun față de axul mașinii după două (sau un multiplu de două) suprafețe conice, fiind denumite în acest caz și înfășurări în formă de coș.

La aceleași date, înfășurările în două straturi necesită întotdeauna mai puțin material conductor decît înfășurările într-un strat și prezintă mai multe posibilități de obținere a unor scheme distincte de înfășurări.

Înfășurările trifazate, în două straturi, constituite din bobine cu pas diametral sau cu pas scurtat, pot fi cu șase zone, cu extinderea

zonelor — parțială sau totală — cu intercalarea fazelor ; extinderea zonelor și intercalarea fazelor se pot aplica simultan la aceste înfășurări (spre deosebire de înfășurările într-un strat, la care obținerea

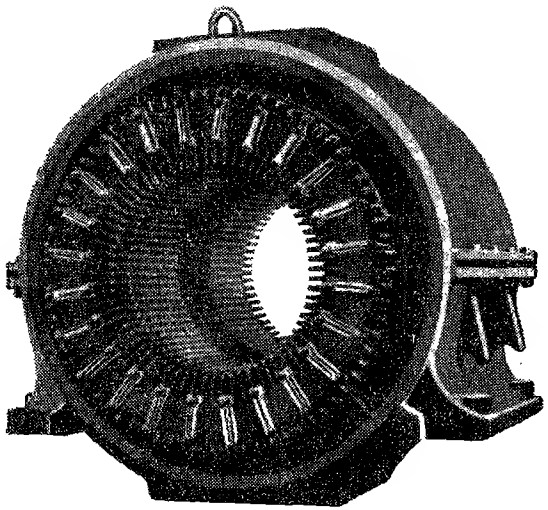


Fig. 5.84. Fotografia unei înfășurări trifazate, în evolventă, avînd părțile frontale dispuse în două plane perpendiculare pe axul de rotație cu $Z=72$; $2p=4$; $q=6$.

intercalării fazelor este legată fie de modificarea pasului bobinelor componente, fie de deplasarea relativă în cîmp a grupelor de bobine succesive aparținînd înfășurării aceleiași faze).

Înfășurări cu șase zone

Înfășurările în două straturi, cu șase zone, sînt înfășurări trifazate cu număr întreg de crestături pe pol și fază la care laturile de bobine din stratul exterior (sau interior) care revine unei faze pe pol, sînt dispuse în crestături alăturate. Aceste înfășurări pot fi constituite din bobine cu pas diametral sau cu pas scurtat ; în primul caz în crestături se găsesc laturi de bobine care aparțin aceleiași faze, iar în al doilea, în funcție de valoarea scurtării bobinelor, în anumite crestături se găsesc laturi de bobine care aparțin la faze diferite. La înfășurările constituite din bobine cu pas diametral, factorul de înfășurare k_w este egal cu factorul de repartizare k_q și se calculează cu

expresia 5.20, iar la cele constituite din bobine cu pas scurtat, factorul de înfășurare este egal cu produsul dintre factorii de repartizare și de scurtare determinați după expresiile 5.20 și 5.22.

Înfășurări în coroană, din grupe de bobine concentrice

Înfășurări din grupe de bobine concentrice cu pasul mediu pe grupă egal cu pasul polar $\left(\frac{Z}{2p}\right)$ **crestături**

Înfășurările în coroană de grupe de bobine concentrice sînt constituite din $2pm$ grupe de bobine, fiecare grupă avînd q bobine. Schema unei înfășurări trifazate, tetrapolare, în coroană de grupe de bobine concentrice este reprezentată în fig. 5.85. În această schemă fiecare grupă este constituită din două bobine ; succesiunea bobinelor în grupă este spre exterior (capetele de legături ale grupei de bobine

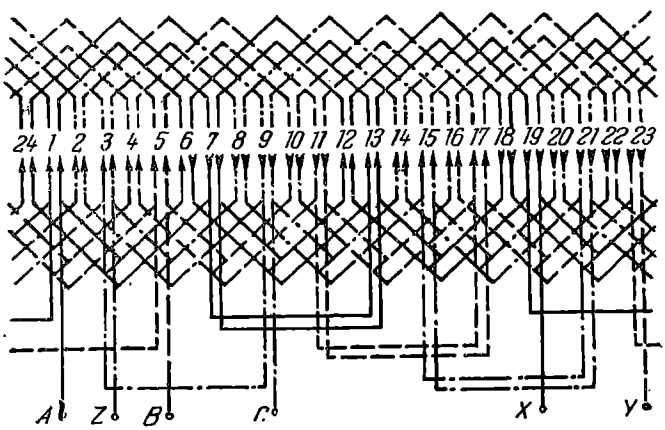


Fig. 5.85. Schema unei înfășurări trifazate în coroana de grupe de bobine concentrice avînd : $Z=24$; $2p=4$; $q=2$.

sînt scoase, începutul din bobina interioară, iar sfîrșitul din bobina exterioară). Grupele de bobine aparținînd aceleiași faze sînt decalate succesiv cu un pas polar τ respectiv cu $\frac{Z}{2p}$ crestături. Datorită poziției lor în cîmpul magnetic, grupele de bobine succesive, aparținînd aceleiași faze, au simultan polaritate opusă ; din această cauză legăturile dintre grupe se fac alternativ sfîrșit cu sfîrșit, început cu început etc.

Considerînd aceeași înfășurare, executată în două straturi (în fig. 5.85) și într-un strat, spre exemplu, în două etaje (în fig. 5.47, *a*) sau în coroană de grupe de bobine concentrice (în fig. 5.52), se constată următoarele :

— înfășurările acelorași faze au o dispunere identică în crestături în cele două scheme (același factor de înfășurare) ;

— numărul de bobine și respectiv de grupe de bobine la înfășurarea în două straturi este de două ori mai mare decît numărul de bobine și respectiv de grupe de bobine de la înfășurarea într-un strat, iar numărul de spire dintr-o bobină a înfășurării în două straturi este de două ori mai mic decît numărul de spire dintr-o bobină din înfășurarea într-un strat (același număr de spire pe fază în ambele scheme, înfășurarea avînd aceleași date) ;

— grupele de bobine aparținînd aceleiași faze sînt decalate succesiv, cu 2τ, respectiv cu $\frac{Z}{p}$ crestături în cazul execuției într-un strat și cu τ, respectiv cu $\frac{Z}{2p}$ crestături în cazul execuției în două straturi ; în primul caz grupele de bobine succesive au simultan aceeași polaritate, iar în al doilea, polaritatea opusă. Din această cauză apare diferența între modul de legare a grupelor succesive de bobine în cele două scheme : sfîrșit cu început etc. la înfășurările într-un strat cu q bobine în grupă și, alternativ, sfîrșit cu sfîrșit și început cu început, la înfășurările în două straturi cu șase zone ;

— părțile frontale ale grupelor de bobine se succed în sensul succesiunii fazelor înfășurării în ordinea fazelor *1—2—3, 1—2—3* etc., în cazul înfășurării într-un strat și respectiv în ordinea *1—3—2, 1—3—2* etc. în cazul înfășurării în două straturi.

Înfășurările în două straturi se deduc din înfășurările corespunzătoare într-un strat, prin dublarea numărului de bobine și respectiv de grupe de bobine, prin reducerea la jumătate a numărului de spire din bobină și prin repartizarea pe fiecare pol a unei grupe de bobine din înfășurarea fiecărei faze. Să urmărim spre exemplu trecerea înfășurării *A—X* de la dispunerea într-un strat fig. 5.47, a_1, la dispunerea în două straturi fig. 5.85. Se dublează numărul grupelor de bobine și se lasă în aceleași crestături primele grupe ocupînd jumătate din crestăturile *1—6—24—7*, respectiv *13—18—12—19*, iar grupele noi se rabat la 180° în jurul axei dinților, în exemplul nostru, dintre crestăturile *6* și *7* și respectiv *18* și *19* și ocupă jumătatea rămasă liberă în crestăturile *13—6—12—7*, respectiv *1—18—24—19*. Se observă că înfășurarea *A—X* ocupă aceleași crestături în cele două scheme iar legăturile între grupele succesive de bobine, datorită rabaterii, se execută astfel : sfîrșit cu sfîrșit, început cu început etc.

În mod asemănător se poate proceda la deducerea oricărei scheme a înfășurării în două straturi dintr-o schemă a unei înfășurări corespunzătoare într-un strat.

De remarcat faptul esențial că la înfășurările în două straturi cu șase zone numărul de bobine într-o grupă de bobine este egal cu q.

În cazul înfășurărilor cu $q>2$ grupa se poate împărți în subgrupe decalate, subgrupa avînd $q/2$ bobine pentru q par și respectiv $(q/2\pm0{,}5)$, cu $(q/2\mp0{,}5)$ bobine, sau invers, pentru q impar. În fig. 5.86 este reprezentată schema unei astfel de înfășurări, trifazată, avînd $q=4$, semigrupele fiind constituite din două bobine ($q/2$ bobine). Pentru execuția unei asemenea înfășurări sînt necesare $4pm$ grupe constructive (semigrupe) de bobine, fiecare grupă constructivă avînd $q/2$ bobine.

De observat că prin împărțirea grupei în subgrupe se reduce dimensiunea axială a înfășurării în părțile frontale, față de cazul în care grupa ar fi constituită din q bobine concentrice și ar ocupa aceleași crestături.

În cazul schemei din figura 5.86 legăturile dintre cele q bobine ale unei grupe sînt astfel făcute încît capetele de legătură sînt scoase din laturile exterioare ale bobinelor din grupă. Capetele de legătură pot fi scoase și din laturile interioare ale bobinelor din grupă, sau din celelalte laturi ale bobinelor, dacă se fac legături corespunzătoare între cele q bobine ale grupei.

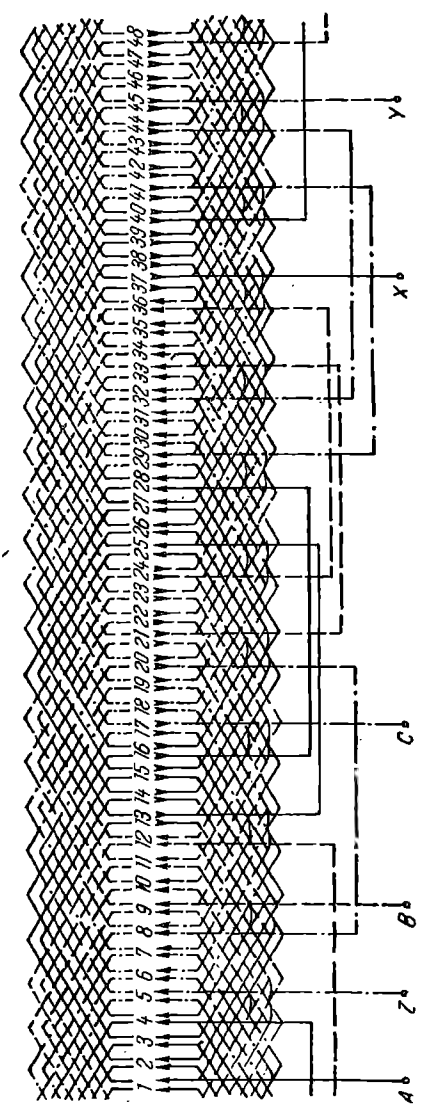


Fig. 5.86. Schema unei înfășurări trifazate în coroană de semigrupe decalate, de bobine concentrice.

Pentru a deduce modul în care se pot stabili schemele oricăror înfășurări trifazate în două straturi, în cazul de față în coroană de grupe de bobine concentrice, este suficient să examinăm schemele înfășurărilor din fig. 5.85, fig. 5.86 și fig. 5.87. Considerăm înfășurarea bipolară înfășurare de bază, înfășurările multipolare fiind un multiplu întreg de înfășurări bipolare. Cea mai simplă înfășurare bipolară, în două straturi este înfășurarea concentrată, constituită din bobine cu pas diametral, a cărei schemă este reprezentată în fig. 5.87, *a*. În cazul acestei înfășurări concentrate, înfășurării fiecărei faze îi revine cîte o crestătură pe pol. Bobinele înfășurării avînd deschiderea egală cu pasul polar adică cu $\frac{Z}{2p}=\frac{6}{2\cdot 1}=3$ crestături ; dacă crestătura *1* revine înfășurării *A—X* a primei faze pe un pol, atunci

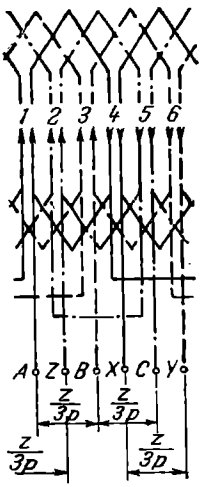


Fig. 5.87, *a*. Schema unei înfășurări trifazate concentrată în coroană avînd $Z=6$; $2p=2$; $q=1$.

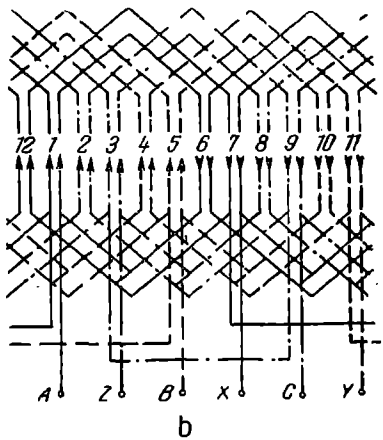


Fig. 5.87, *b*. Schema unei înfășurări trifazate repartizată în coroană de grupe de bobine concentrice cu $Z=12$; $2p=2$; $q=2$.

crestătura *4* revine aceleiași faze pe al doilea pol. Legăturile între cele două bobine ale înfășurării *A—X* trebuie astfel făcute încît sensul curentului în orice moment să fie opus în laturile bobinelor dispuse în crestăturile ce revin polilor de nume contrar ; din această cauză sfîrșitul bobinei *1—4* este legat cu sfîrșitul bobinei *4—1*, asi-

gurîndu-se un sens al curentului în laturile din crestătura *1* și un sens opus în laturile din crestătura *4*. Înfășurările *B*—*Y* și *C*—*Z* ale celorlalte două faze se realizează în mod identic și sînt decalate succesiv cu $Z\left(\frac{1}{3p}+\frac{k}{p}\right)$ crestături (v. relația 5.2). În cazul de față înfășurarea fiind bipolară, se obține același decalaj de două crestături între înfășurările fazelor succesive, pentru orice valoare a factorului k din relația 5.2.

Înfășurarea bipolară repartizată, cu două crestături pe pol și fază, constituită din bobine avînd pasul mediu pe grupa de bobine egal cu pasul polar $\frac{Z}{2p}$ crestături, are schema din fig. 5.87, *b* și se deduce din înfășurarea bipolară concentrată prin dublarea numărului de crestături și respectiv de bobine ; în cazul ultimei scheme grupa de bobine este constituită din două bobine concentrice. Bobina interioară din grupă cuprinde patru crestături — cîte două crestături pe pol pentru fiecare fază, (la înfășurarea concentrată bobina cuprindea două crestături — cîte o crestătură pe pol pentru fiecare fază). Decalajul de $\frac{Z}{3p}$ crestături între înfășurările fazelor succesive este egal cu patru crestături în fig. 5.87, *b* și respectiv cu două crestături în fig. 5.87, *a*.

În cazul general, la înfășurările trifazate bipolare cu q întreg, constituite din bobine a căror pas mediu pe grupă este egal cu $\frac{Z}{2p}$ crestături, cele șase grupe de bobine ale înfășurării ($2pm$ grupe) sînt constituite fiecare din q bobine, iar între laturile interioare ale bobinelor din grupă se lasă $2q$ crestături.

Cu ajutorul schemelor înfășurărilor bipolare cu q dat, care se stabilesc conform celor de mai sus plecînd de la înfășurarea concentrată, se pot întocmi schemele oricăror înfășurări cu același q, multipolare ; acestea cuprind un număr întreg de înfășurări bipolare. Spre exemplu, schema înfășurării tetrapolare cu $q=2$ din fig. 5.85 cuprinde de două ori schema înfășurării bipolare cu $q=2$ din fig. 5.87, *b*. Schema unei înfășurări hexapolare cu $q=2$ va cuprinde schema înfășurării din fig. 5.87, *b* de trei ori etc.

Schemele înfășurărilor multipolare cu alt q se stabilesc în mod similar. Spre exemplu, schema înfășurării tetrapolare cu $q=4$ din fig. 5.86 cuprinde de două ori schema unei înfășurări bipolare cu $q=4$, schema înfășurării hexapolare o va cuprinde de trei ori, cea cu opt poli o va cuprinde de patru ori etc.

Schemele reprezentate mai sus corespund unor înfășurări avînd o singură cale de curent pe fază. La înfășurările în coroană de grupe de bobine concentrice cu q întreg, numărul maxim de căi de curent în paralel pe fază este egal cu $2p$ atît în cazul înfășurărilor cu q impar, cît și în cazul înfășurărilor cu q par cu grupe divizate în semigrupe de bobine concentrice, decalate, avînd un număr impar de bobine în semigrupă. Se obține o înfășurare cu $2p$ căi de curent prin legarea corespunzătoare în aparalel a celor $2p$ grupe de bobine ale înfășurării fazei. În cazul înfășurărilor, cu q par, constituite din grupe de bobine concentrice cu q bobine în grupă sau în cazul grupelor divizate în semigrupe de bobine concentrice, decalate, cu număr par de bobine în semigrupă, numărul maxim posibil de căi de curent în paralel pe fază este egal cu $4p$. În aceste cazuri în fiecare grupă de bobine se pot obține cîte două căi de curent în paralel. În grupele avînd q bobine concentrice, căile de curent, se vor obține, prin legarea în serie a bobinelor cu deschiderea mai mică decît pasul polar pentru o cale și a celor cu deschiderea mai mare decît pasul polar pentru a doua cale. În grupele divizate în semigrupe de bobine concentrice decalate, căile de curent se vor obține prin legarea în serie a bobinelor ($q/2$ bobine=număr par) care au laturile ce revin unei faze pe pol dispuse în crestăturile laterale. În aceste cazuri bobinele înfășurării fazei care au laturile dispuse în crestăturile laterale sub influența unui pol, vor avea celelalte laturi, de sub influența polului vecin de nume contrar, dispuse în crestăturile centrale și invers.

În fig. 5.88 este reprezentată înfășurarea A—X, tetrapolară, cu $q=2$, constituită din grupe de bobine concentrice, cu două căi de curent în *a* și *b*, cu patru căi ($2p=4$) în c și cu opt căi ($4p=8$) în *d*. Înfășurarea A—X tetrapolară cu $q=2$, cu o singură cale de curent este reprezentată în fig. 5.85. În fig. 5.88, *a*, căile de curent sînt constituite din grupe succesive de bobine care au simultan polaritate opusă, iar în fig. 5.88, *b*, din grupe de bobine care au simultan aceeași polaritate și ca urmare a acestui fapt grupele de bobine în calea de curent se leagă succesiv sfîrșit cu sfîrșit în fig. 5.88, *a* și sfîrșit cu început în fig. 5.88, *b*.

La înfășurările cu căi de curent conform fig. 5.88, *a*, forțele de atracție magnetică unilaterală se reduc, în schimb curenții se repartizează neuniform pe căile de curent și invers la înfășurările executate după schema din fig. 5.88, *b* (vezi și schemele înfășurării din fig. 5.44). În cazul înfășurărilor cu $2p>4$ cu două căi de curent în paralel, grupele de bobine în calea de curent se leagă alternativ, sfîrșit cu sfîrșit, început cu început etc. în schemele similare celei din

fig. 5.88, *a* și respectiv sfîrșit cu început etc. în cazul schemelor similare celor din fig. 5.88, *b*.

În fig. 5.88, c s-a reprezentat schema înfășurării fazei avînd toate grupele de bobine legate în paralel, numărul căilor de curent $a=2p$, iar în fig. 5.88, *d* înfășurarea are numărul maxim posibil de căi de curent $a=4p$; în acest caz în fiecare grupă de bobine s-au format cîte două căi de curent. De reținut că numai în cazul grupelor de bobine concentrice cu q par cu pas mediu pe grupă egal cu pasul polar, $\left(\frac{z}{2p}\text{ crestături}\right)$ se pot obține două căi de curent în paralel în grupa de bobine. Subliniem de asemenea faptul esențial că la o înfășurare dată numărul de spire pe fază se păstrează același, independent de numărul căilor de curent. Acest lucru trebuie reținut deoarece la același număr de spire pe fază, bobinele înfășurării cu a căi de curent vor avea de a ori mai multe spire decît bobinele înfășurării cu o singură cale de curent, iar secțiunea conductorului de bobinaj va fi de a ori mai mică. Spre exemplu, dacă considerăm că înfășurarea A—X are același număr de spire în figurile 5.85 și 5.88, atunci bobinele în figurile 5.88, *a* și *b*, în fig. 5.88, c, în fig. 5.88, *d* vor avea respectiv de 2, de 4 și de 8 ori mai multe spire decît bobinele din fig. 5.85; secțiunea conductorului de bobinaj va fi corespunzător redusă la $^1/_2$, $^1/_4$ și $^1/_8$ în cele trei scheme, față de secțiunea conductorului înfășurării, cu o singură cale de curent, reprezentată în fig. 5.85.

În fig. 5.89 este reprezentată o grupă de bobine din înfășurarea A—X a unei înfășurări trifazate avînd $q=4$, grupa avînd două căi de curent. În fig. 5.89, *a* grupa este constituită din bobine concentrice, iar căile de curent sînt obținute respectiv prin legarea în serie a bobinelor cu deschiderea mai mică decît pasul polar pentru o cale și a bobinelor cu deschiderea mai mare decît pasul polar pentru a doua. În fig. 5.89, *b* grupa este divizată în semigrupe de bobine concentrice, decalate, iar căile de curent sînt obținute respectiv prin legarea în serie a bobinelor care au laturile dispuse în crestăturile laterale (*1* și *4*) pe un pol și respectiv în crestăturile centrale (*14* și *15*) pe polul vecin de nume contrar, pentru o cale, și a bobinelor care au laturile în crestăturile centrale (*3* și *4*) pe primul pol și în crestăturile laterale (*13* și *16*) pe al doilea pol, pentru a doua cale.

În fig. 5.88 înfășurările B—Y și C—Z a celorlalte două faze vor fi identice cu înfășurarea A—X și vor fi decalate succesiv cu $Z\left(\frac{1}{3p}+\frac{k}{p}\right)$ crestături; ($k=0, 1, 2, 3\ldots$, iar p este numărul perechilor de poli).

Cu ajutorul exemplelor date în figurile 5.88 și 5.89 se pot stabili schemele oricăror înfășurări cu $a>1$ pentru orice valoare a numărului de poli $2p$ și a numărului întreg de crestături pe pol și faza q.

În cazul înfășurărilor în două straturi în coroană de grupe de bobine concentrice, se utilizează ca element constructiv de bază grupa de bobine pentru înfășurările cu $a=1 \ldots 2p$ și respectiv semigrupa

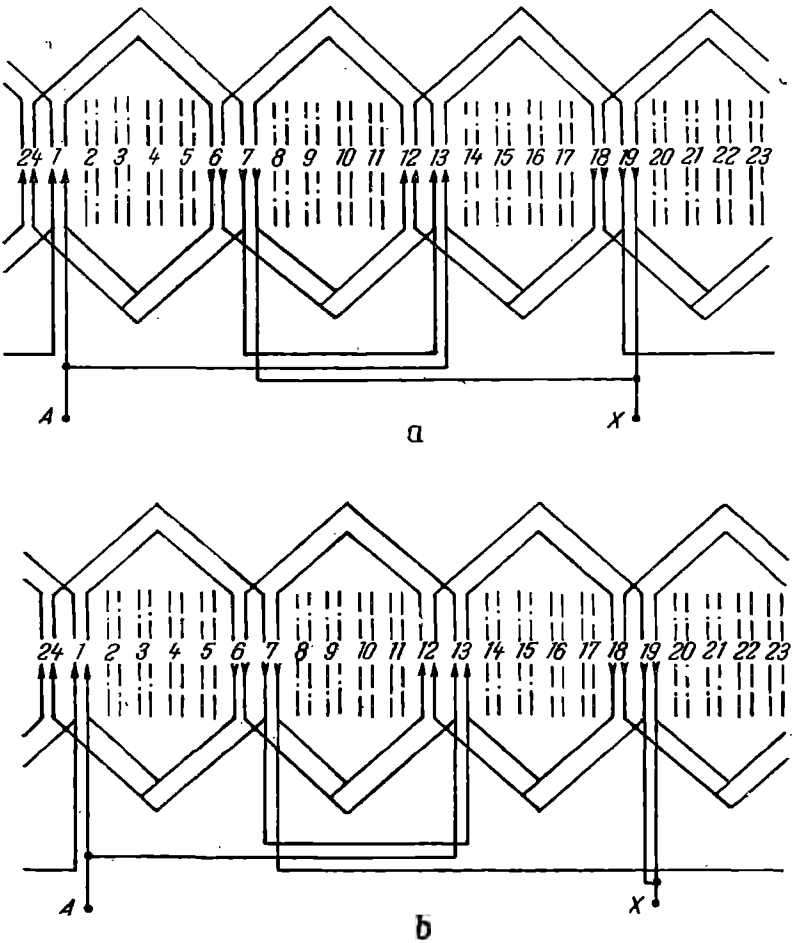
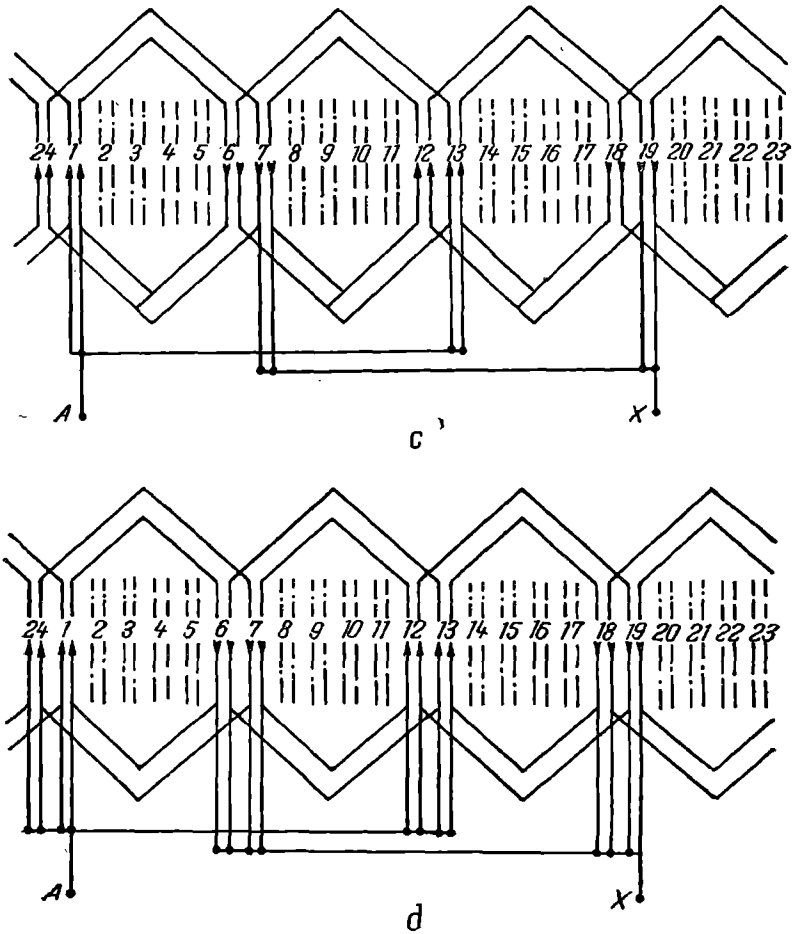


Fig. 5.88. Schema înfășurării A—X dintr-o
a și *b* — cu două căi de curent în paralel; *c* — patru căi

cu $q/2$ bobine în cazul înfășurărilor cu $a=4p$ căi de curent. La asemenea înfășurări este aproape exclusiv cu secțiunea circulară ; astfel de înfășurări se dispun în general în crestături semiînchise, iar în procesul de bobinare, introducerea în crestături se face radial conductor cu conductor. Ordinea de introducere în crestături a laturilor de bobine se face în corespondență cu dispunerea succesivă în coroană a părților frontale ale grupelor de bobine.



înfășurare avînd $Z=24$; $2p=4$; $q=2$.
de curent în paralel; *d* — cu opt căi de curent în paralel.

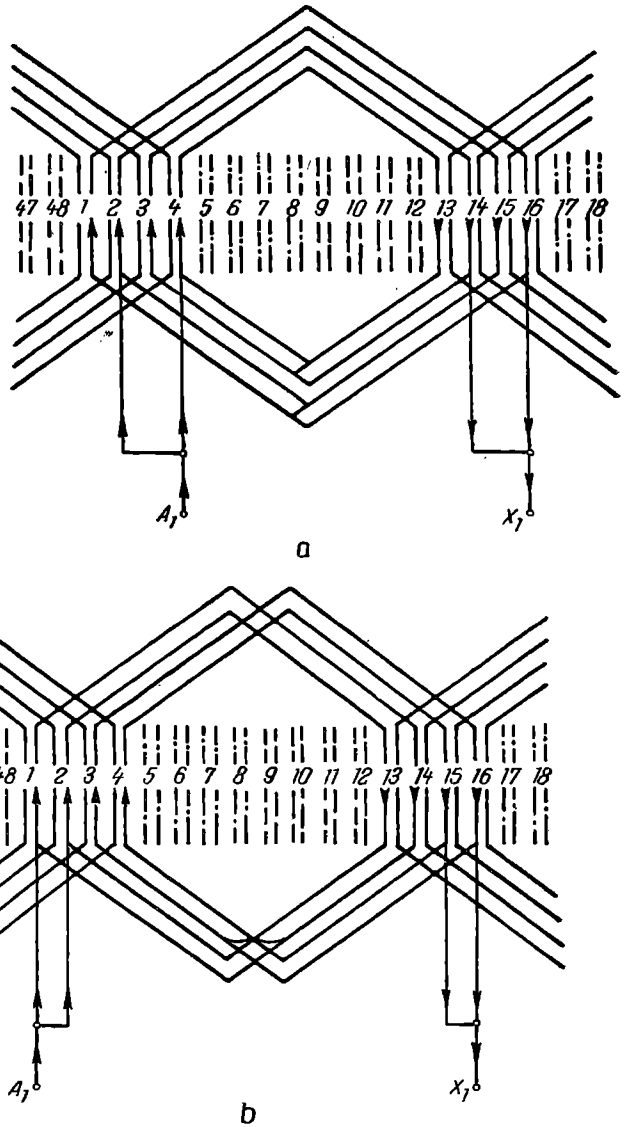


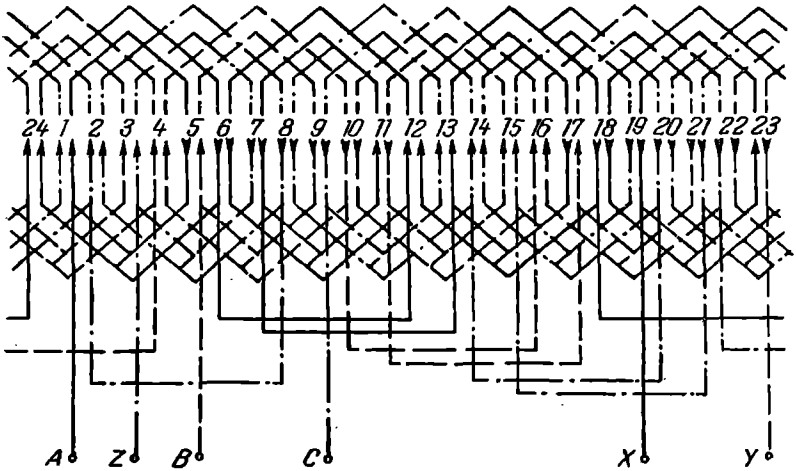
Fig. 5.89. Grupă cu patru bobine, dintr-o înfășurare trifazată avînd : $Z=48$; $2p=4$; $q=4$:

a — cu două căi de curent, din bobine concentrice; *b* — cu două căi de curent, din bobine decalate.

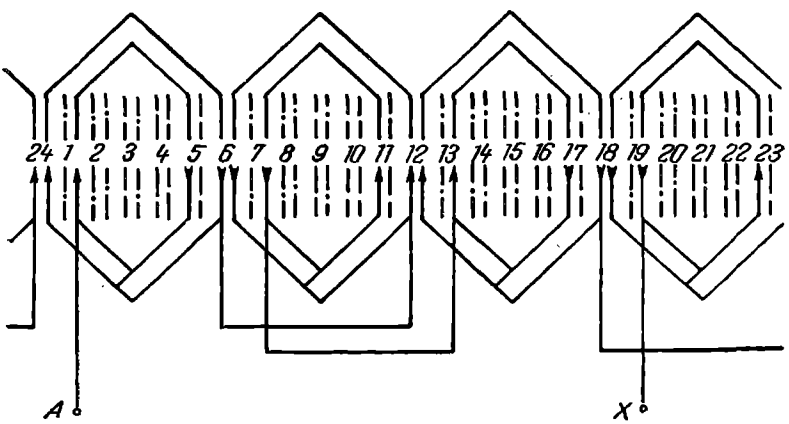
Înfășurări din grupe de bobine concentrice cu pasul scurtat (pasul mediu pe grupă mai mic decît pasul polar)

Acestea se obțin din înfășurările constituite din grupe de bobine concentrice avînd pasul mediu pe grupă egal cu pasul polar $\left(\frac{Z}{2p}\right.$ crestături$\left.\right)$, prin reducerea deschiderii bobinelor. Spre exemplu, dacă la înfășurarea reprezentată în fig. 5.85 se reduce deschiderea bobinelor cu o crestătură, apropiind mănunchiurile de întoarcere (din dreapta) de mănunchiurile de ducere (din stînga) se obține dispunerea în crestături a laturilor de bobine ca în fig. 5.90, *a*. În fig. 5.90, *a*, este reprezentată separat numai înfășurarea *A*—*X*. Înfășurările *B*—*Y* și *C*—*Z* ale celorlalte două faze sînt identice cu înfășurarea *A*—*X* și sînt decalate succesiv între ele cu $Z\left(\frac{1}{3p}+\frac{k}{p}\right)$ crestături. Pentru $k=0$, dacă bobinele au aceeași succesiune în toate grupele, capetele de legătură a celorlalte două înfășurări ale fazelor (extremitățile înfășurărilor) vor fi scoase din aceleași crestături ca în fig. 5.85, adică *B* din crestătura *5*, *y* din *23*, *C* din *9* și *Z* din *3*. Toate extremitățile vor fi *începuturi ale bobinelor situate în laturile de ducere (din stînga) care în schemele desfășurate, adoptate în prezenta lucrare sînt reprezentate în crestături, în dreapta*. De observat că în anumite crestături în cazul înfășurării reprezentată în fig. 5.90, sînt dispuse laturi de bobine care aparțin la faze diferite. La toate înfășurările constituite din grupe de bobine cu pasul mediu pe grupă mai mic decît pasul polar, vor fi crestături în care laturile de bobine aparțin la faze diferite, numărul acestora fiind cu atît mai mare cu cît deschiderea bobinelor se va reduce mai mult față de pasul polar. Se poate observa de exemplu, că la înfășurarea din fig. 5.90, dacă deschiderea bobinelor se mai reduce cu o crestătură, în toate crestăturile vor exista laturi de bobine care aparțin la faze diferite.

Înfășurarea obținută are pasul scurtat, iar pasul bobinei este mai mic decît pasul polar. La aceeași inducție în întrefier, valoarea fluxului îmbrățișat de bobina cu pas scurtat este mai mică decît valoarea fluxului îmbrățișat de bobina cu pas diametral. Ca urmare a acestui fapt, în aceleași condiții, valoarea tensiunii electromotoare induse în înfășurarea constituită din grupe de bobine cu pas mediu diametral este întodeauna mai mare decît valoarea tensiunii electromotoare indusă în înfășurarea cu pas scurtat. În ultimul caz, pentru a obține



a



b

Fig. 5.90. Schema unei înfășurări avînd : $Z=24$; $2p=4$; $m=3$; $q=2$; $y_{ediu}=5$; $a=1$;

a — schemă completă; *b* — schemă parțială.

aceeași valoare a tensiunii indusă în înfășurare, numărul de spire pe fază trebuie sporit de la w_d la w_s

$$w_s = w_d \frac{k_{w_{1d}}}{k_{w_{1s}}} \tag{5.44}$$

în care w_d și w_s sînt numerele de spire din înfășurarea unei faze constituită din grupe de bobine cu pas mediu diametral (d) și respectiv cu pas scurtat (s), iar $k_{w_{1d}}$ și $k_{w_{1s}}$ sînt factorii de înfășurare corespunzători armonicii fundamentale, pentru înfășurarea cu w_{1d} spire și respectiv cu w_{1s} spire. Factorul de înfășurare $k_{w_{1d}}$ este egal cu factorul de repartizare k_{q_1} și se calculează cu relația 5.20, iar factorul $k_{w_{1s}}$ este egal cu produsul dintre factorul de repartizare k_{q_1} și de scurtare k_{s_1} și se calculează respectiv cu relațiile 5.20 și 5.22.

Reamintim că scurtarea bobinelor variază în trepte, iar numărul treptelor este cu atît mai mare cu cît pasul diametral al bobinei, experimentat în număr de crestături, este mai mare. Spre exemplu la o înfășurare avînd $q=2$ și scurtînd pasul bobinelor cu o crestătură, se obține scurtarea relativă

$$s_r = \frac{\tau - y_{med}}{\tau} 100 = \frac{6-5}{6} 100 = \frac{1}{6} 100 = 16{,}66\,\%$$

pe cînd la o înfășurare avînd $q=4$, la scurtarea pasului bobinelor cu o crestătură se obține scurtarea relativă pe jumătate

$$s_r = \frac{\tau - y_{med}}{\tau} 100 = \frac{12-11}{12} 100 = \frac{1}{12} 100 = 8{,}33\,\%,$$

în ultimul caz scurtarea de 16,66% se obține dacă pasul bobinelor este scurtat cu două crestături.

Rezultă că posibilitatea de a obține o anumită scurtare este cu atît mai mare, cu cît numărul de crestături pe pol și fază este mai mare.

În practică se realizează îndeosebi scurtarea de 16,66%; armonicile tensiunii electromotoare de ordinele 5 și 7 se reduc substanțial îmbunătățindu-se astfel caracteristicile de funcționare și de pornire ale mașinilor electrice echipate cu asemenea înfășurări.

Toate înfășurările de tipul celor prezentate în paragraful precedent se pot transforma în înfășurări constituite din grupe de bobine cu pasul mediu scurtat. În cazul acestor înfășurări numărul maxim de căi de curent în paralel pe fază este egal cu $2p$, adică în grupele de bobine nu se mai pot obține cîte două căi de curent ca la grupele de bobine cu pasul mediu diametral, cu q par.

În fig. 5.91 este reprezentată schema unei înfășurări tetrapolare, cu $q=2$, cu pasul mediu scurtat cu $16{,}66^0/_0$, cu număr maxim posibil de căi de curent în paralel pe fază $a=2p$. În acest caz dacă înfășurarea fazei are același număr de spire și același curent ca înfășurarea din fig. 5.90, atunci bobinele înfășurării din fig. 5.91 vor avea de patru ori ($a=4$) mai multe spire decît bobinele înfășurării din fig. 5.90 (la care $a=1$), iar secțiunea conductorului de bobinaj, la aceeași densitate

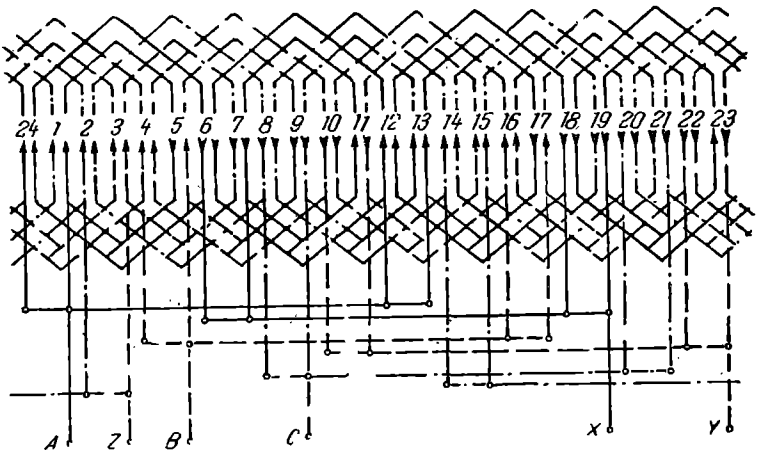


Fig. 5.91. Schema unei înfășurări avînd $Z=24$; $2p=4$; $m=3$; $q=2$; $y_{mediu}=5$; $a=4$.

de curent, va fi de patru ori mai mică ; în ambele scheme factorul de înfășurare are aceeași valoare. Înfășurarea se poate realiza și cu două căi de curent pe fază, legînd în serie pe cale fie grupele de bobine decalate cu cîte un dublu pas polar (vezi fig. 5.88, *b*) și conectînd apoi în paralel căile de curent formate, fie jumătate din grupele de bobine decalate succesiv cu cîte un pas polar (v. fig. 5.88, *a*) și conectînd apoi în paralel căile de curent formate.

De remarcat că dintr-o înfășurare constituită din grupe de bobine cu pas mediu diametral, se obțin înfășurări distincte pentru fiecare treaptă a scurtării pasului bobinelor (alte numere de spire pe fază și factori de înfășurare diferiți).

Înfășurările în două straturi constituite din grupe de bobine cu pas mediu scurtat se pot obține și direct din înfășurările într-un strat care au pe fază $2p$ grupe și $q/2$ bobine în grupă (înfășurările în trei etaje, în coroană de grupe de bobine concentrice și înfășurări în lanț cu q par). În toate aceste cazuri prin trecerea de la înfășurarea într-un

strat la înfășurarea corespunzătoare în două straturi pasul mediu pe grupă se păstrează, iar în ultimul caz se obțin grupe de bobine, divizate în semigrupe decalate. Semigrupele vor fi constituite dintr-o singură bobină pentru $q=2$, din două bobine concentrice pentru $q=4$, din trei bobine concentrice pentru $q=6$ etc. În fig. 5.92 este reprezentată schema înfășurării A—X dintr-o înfășurare trifazată avînd $q=4$ și $2p=2$. Această schemă s-a obținut din schema unei înfășurări

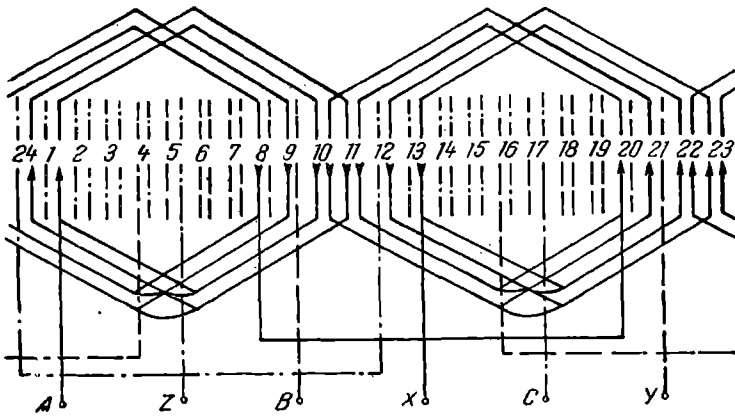


Fig. 5.92. Schema parțială a unei înfășurări avînd : $Z=24$; $2p=2$; $m=3$; $q=4$.

într-un strat avînd pe fază $2p=2$ grupe de bobine, cu $q/2$ bobine în grupă, prin dublarea numărului de bobine și reducerea numărului de spire pe bobină la jumătate.

Bobinele care apar datorită dublării, se rabat la 180° în jurul axei dinților dintre crestăturile avînd laturile de întoarcere ale grupelor de bobine din înfășurarea într-un strat. Înfășurarea într-un strat este constituită din grupe de bobine concentrice cu $q/2$ bobine în grupă cu părțile frontale ale bobinelor în trei etaje (v. fig. 5.42, *a*) sau în coroana de grupe de bobine concentrice (v. fig. 5.50). La aceasta prima grupă de bobine a înfășurării A—X ocupă crestăturile *1—10, 24—11,* iar a doua grupă crestăturile *13—22, 12—23.* Prin dublare și rabatere la 180°, din prima grupă se obține semigrupa a căror laturi se dispun în crestăturile *11—20, 10—21,* iar din a doua grupă semigrupa cu laturile în crestăturile *23—8, 22—9.* Prima grupă de bobine a înfășurării în două straturi se obține prin legarea în serie a semigrupelor cu laturile în crestăturile *1—10, 24—11* și respectiv *22—9, 23—8,* iar a doua grupă din semigrupele *13—22, 12—23* și *10—21, 11—20.* În schema

din fig. 5.92 legăturile dintre bobinele grupei sînt astfel făcute încît capetele de legătură sînt scoase din crestăturile interioare. În acest caz succesiunea bobinelor este spre exterior într-o semigrupă și spre interior în cealaltă ; întotdeauna considerăm că începuturile bobinelor sînt în laturile din stînga și sfîrșiturile în laturile din dreapta (v. 5.2.1).

La înfășurările în două straturi în coroană de grupe din semigrupe decalate, de bobine concentrice, se utilizează ca element constructiv de bază semigrupa (grupă constructivă din $q/2$ bobine) ; în acest caz, cînd succesiunea bobinelor în grupă este spre exterior într-o semigrupă și spre interior în cealaltă, capetele de legătură ale grupei sînt scoase din crestăturile interioare (exemplu din fig. 5.92). Capetele de legătură pot fi scoase și din laturile exterioare ale bobinelor din grupă cînd succesiunea bobinelor în prima subgrupă este spre interior, iar în a doua spre exterior, adică succesiunea semigrupelor în grupă este inversată față de primul caz. Dacă în cele două semigrupe se inversează succesiunea, capetele de legătură ale grupei pot fi scoase fie din crestăturile dinspre laturile interioare, fie din crestături dinspre laturile exterioare ale bobinelor din grupă. În cele două cazuri din urmă se poate utiliza ca element constructiv de bază grupa de q bobine, divizată în două semigrupe, decalate, din bobine concentrice.

Toate înfășurările într-un strat cu q par, în trei etaje, în coroană de grupe de bobine concentrice cu $q/2$ bobine în grupă, în lanț, pot fi transformate în mod similar în înfășurări în două straturi, din bobine concentrice dispuse în coroană de grupe divizate în semigrupe decalate. La aceste înfășurări factorul de înfășurare se calculează ca un produs între factorul de repartizare și factorul de scurtare (tabela 5.4.). La înfășurările într-un strat constituite din grupe de cîte $q/2$ bobine, din care se deduc direct înfășurările cu pas scurtat în două straturi cu grupe divizate, factorul de înfășurare este egal cu produsul factorilor de repartizare și de scurtare, cu observația că în expresia (5.20) se ia în loc de q valoarea $q/2$ (pct. 5 — tabela 5.4). La toate înfășurările în două straturi în coroană de grupe de bobine cu pas mediu scurtat, obținute direct din înfășurările corespunzătoare într-un strat, pasul pe grupă este scurtat cu 16,66%. Și în aceste cazuri schema înfășurării este schimbată față de schema înfășurării într-un strat (grupe cu q bobine în loc de $q/2$ bobine), iar numărul de spire din înfășurarea fazei se calculează cu relația (5.45)

$$w_{2s} = w_{1s} \frac{k_{w1\,(1s)}}{k_{w1\,(2s)}} \tag{5.45}$$

în care w_{2s} și w_{1s} sînt respectiv numerele de spire din înfășurarea fazei în două straturi și într-un strat, iar $k_{w1\,(1s)}$ și $k_{w1\,(2s)}$ sînt fac-

torii de înfășurare corespunzători pentru fundamentală. Pentru alte scurtări ale pasului bobinelor se modifică factorul de scurtare și deci și factorul de înfășurare și în mod corespunzător, conform relației (5.45), se modifică și numărul de spire w_{2s}.

La înfășurările în două straturi în coroană de grupe divizate în semigrupe, decalate, de bobine concentrice, cu pas mediu pe grupă scurtat, numărul maxim posibil de căi de curent în paralel pe fază este egal cu $2p$, adică fiecare grupă de bobine poate constitui cel mult o cale de curent.

Înfășurări în coroană, din bobine egale

Înfășurări cu pas diametral. La aceste înfășurări toate bobinele sînt identice și au deschiderea egală cu pasul polar $\left(\frac{Z}{2p}\text{ crestături}\right)$. Schemele înfășurărilor constituite din bobine cu pas diametral se obțin din schemele înfășurărilor corespunzătoare constituite din grupe de bobine concentrice cu pasul mediu pe grupă diametral, prin schimbarea grupelor de bobine concentrice în grupe de bobine identice.

În fig. 5.93, *a* este reprezentată o grupă de două bobine concentrice cu pas mediu diametral (v. spre exemplu fig. 5.85), iar în fig. 5.93, *b* și *c*, sînt reprezentate grupele de bobine identice echivalente (grupele au laturile bobinelor dispuse în aceleași crestături) cu succesiunea bobinelor în grupă spre stînga în fig. 5.93, *b* și spre dreapta în fig. 5.93, *c*. Dacă în locul grupelor de bobine concentrice din înfășurarea reprezentată în fig. 5.85 se adoptă grupele de bobine identice echivalente din fig. 5.93, *b*, se obține o înfășurare cu bobine egale, cu pas diametral.

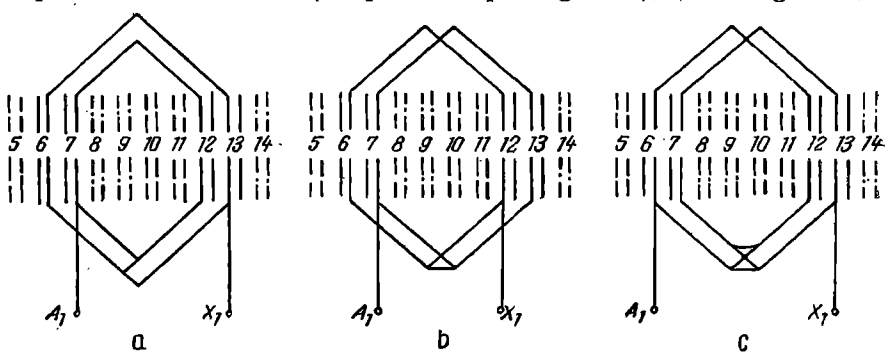


Fig. 5.93. Grupe din două bobine :
a — concentrice; *b*, *c* — decalate.

O schemă completă a înfășurării tetrapolare, constituită din bobine egale, cu pas diametral, este reprezentată în fig. 5.94. De remarcat că extremitățile înfășurării fazelor (capetele de legătură) sînt scoase din aceleași crestături în fig. 5.85 și fig. 5.94. Dacă succesiunea bobinelor în ultima grupă a înfășurării fazelor ar fi ca în fig. 5.93, c, capetele de legătură ale înfășurărilor de fază ar fi scoase din alte crestături. Posibilitățile de a scoate capetele de legătură ale înfășurării

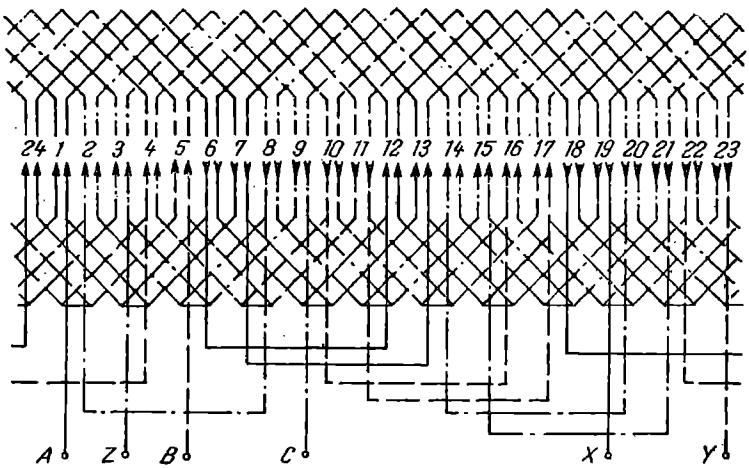


Fig. 5.94. Schema unei înfășurări cu : $Z=24$; $2p=4$; $m=3$; $q=2$; $y=6$.

fazelor din diferite crestături sînt determinate de succesiunea bobinelor în grupele de bobine. Spre exemplu, dacă toate grupele de bobine sînt cu succesiunea spre dreapta atunci capetele de legătură ale înfășurării fazelor se scot astfel : *A* din crestătura *24*, *X* din *18*, *B* din *4*, *Y* din *22*, *C* din *8* și *Z* din crestătura *2* ; în mod corespunzător capetele de legătură ale grupelor de bobine se scot în acest caz din alte crestături (din crestăturile pare). Alte variante se obțin cînd se utilizează grupe de bobine cu succesiune diferită a bobinelor în grupă. Reamintim că în practică se utilizează în general grupe cu aceeași succesiune a bobinelor ; în cazul acestora schema înfășurării se urmărește mai ușor.

Schemele altor înfășurări multipolare, cu q dat, se obțin din înfășurările bipolare avînd același q. În toate cazurile se stabilesc în prealabil înfășurările bipolare corespunzătoare și apoi se deduc în-

fășurările pentru oricare număr de perechi de poli. Spre exemplu înfășurarea bipolară cu $q=2$, constituită din bobine identice avînd deschiderea egală cu pasul polar $\left(\frac{Z}{2p}\text{ crestături}\right)$ din fig. 5.95, se obține din înfășurarea bipolară concentrată constituită din bobine cu pasul diametral din fig. 5.87, *a*, prin dublarea numărului de bobine, respectiv a numărului de bobine pe grupă. În ultimul caz pasul polar al bobinei exprimat în număr de crestături este egal cu 6 (bobinele componente au laturile în crestăturile *1*—*7*, *2*—*8*, *3*—*9* ... etc.). Între laturile interioare ale bobinelor din grupă sînt cuprinse 4 crestături, care revin celorlalte două faze pe pol. Înfășurările fazelor succesive sînt decalate relativ în sensul succesiunii fazelor cu $Z\left(\frac{1}{3p}+\frac{k}{p}\right)$ crestături; acest decalaj, la înfășurările trifazate bipolare avînd $q=2$, corespunde la 4 crestături pentru oricare valoare a factorului k. În schema din fig. 5.95, *a* bobinele în grupă au succesiunea spre stînga,

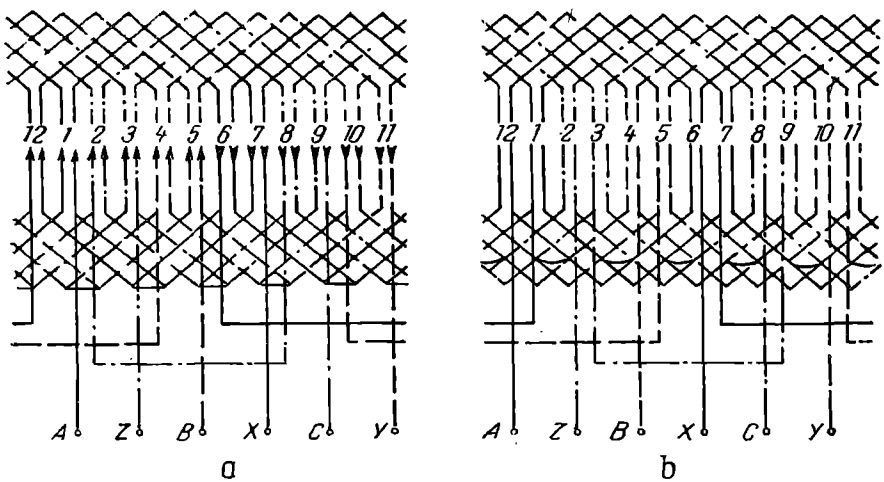


Fig. 5.95. Schema unei înfășurări avînd $Z=12$; $2p=2$; $m=3$; $q=2$; $y=6$; *a* — cu succesiunea spre stînga; *b* — cu succesiunea spre dreapta.

iar în fig. 5.95, *b*, spre dreapta ; din această cauză, în fig. 5.95, *b*, extremitățile înfășurării fazelor sînt scoase din crestături decalate spre stînga față de cazul din fig. 5.95, *a*.

Cu ajutorul înfășurărilor bipolare avînd $q=2$ se pot obține toate înfășurările multipolare avînd același q. Spre exemplu, înfășurarea trifazată tetrapolară cu $q=2$, avînd schema din fig. 5.94 conține două

înfășurări bipolare avînd schema din fig. 5.95, *a*, înfășurarea cu 6 poli conține trei înfășurări bipolare, cea cu 8 poli conține 4 înfășurări bipolare etc.

Pentru înfășurările avînd alt q se stabilește de asemenea mai întîi înfășurarea bipolară de bază constituită din grupe cu q bobine în grupă, iar între laturile interioare ale bobinelor din grupă se lasă $2q$ crestături. Cu ajutorul schemelor înfășurărilor bipolare corespunzătoare, se stabilesc apoi schemele oricăror înfășurări multipolare știind că o înfășurare cu $2p$ poli conține p înfășurări bipolare.

În acest paragraf sînt reprezentate schemele unor înfășurări avînd pe fază o singură cale de curent. La înfășurările în două straturi constituite din bobine identice cu deschiderea egală cu pasul polar $\left(\frac{Z}{2p}\right.$ crestături$\left.\right)$, numărul maxim posibil de căi de curent în paralel cu aceeași fază este egal cu $2p$; la aceste înfășurări, grupa de bobine poate forma o singură cale de curent. Realizarea căilor de curent în paralel pe fază se face conform indicațiilor date în cazul fig. 5.88, *a*, *b*, *c*, în care grupele de bobine concentrice se transformă în grupe echivalente de bobine identice (v. fig. 5.93).

De remarcat că și la înfășurările în două straturi constituite din bobine identice cu deschiderea egală cu pasul polar, la fel ca și la înfășurările constituite din grupe de bobine concentrice cu pasul mediu pe grupă diametral, în crestături se găsesc laturi de bobine care aparțin aceleiași faze. La aceste înfășurări factorul de înfășurare k_{w1} este egal cu factorul de repartizare k_{q1} și se calculează cu relația 5.20.

La înfășurările constituite din bobine identice se utilizează ca element constructiv de bază al înfășurării grupa de bobine, în cazul conductoarelor de secțiune circulară, iar în cazul conductoarelor de secțiune dreptunghiulară se utilizează bobina și respectiv grupa de semispire (v. 5.2.1.).

În comparație cu înfășurările echivalente în două straturi în coroană de grupe de bobine concentrice, înfășurările constituite din bobine identice au lungimea axială a înfășurării mai redusă.

Înfășurări cu pas scurtat

La înfășurările cu pasul scurtat, toate bobinele sînt identice și au deschiderea mai mică decît pasul polar $\left(\frac{Z}{2p}\right.$ crestături$\left.\right)$. Schemele acestor înfășurări se obțin din schemele înfășurărilor corespunzătoare constituite din grupe de bobine concentrice cu pasul mediu pe grupă

scurtat, prin schimbarea grupelor de bobine concentrice în grupe de bobine identice, echivalente (ale căror laturi ocupă aceleași crestături).

În fig. 5.96, *a* este reprezentată o grupă de două bobine concentrice cu pasul mediu pe grupa scurtat, iar în fig. 5.96, *b* și c sînt reprezentate grupele de bobine identice echivalente; bobinele au succesiunea în grupa spre exterior în fig. 5.96, *a*, spre stînga în fig. 5.96, *b* și spre dreapta în fig. 5.96, c. Dacă în locul grupelor de bobine concentrice din înfășurarea reprezentată în fig. 5.90, *a* se adoptă grupele de bobine identice echivalente din fig. 5.96, *b*, rezultă o înfășurare cu bobine identice, avînd pasul scurtat, iar schema înfășurării corespunzătoare este reprezentată în fig. 5.97. Prin trecerea de la grupe de bobine concentrice la grupe echivalente de bobine identice, pasul mediu pe grupă are aceeași valoare și se exprimă printr-un număr întreg de crestături. Toate înfășurările în două straturi constituite din grupe de bobine concentrice cu pasul mediu pe grupă scurtat se pot transforma în înfășurări din bobine identice cu aceeași scurtare. În cazul acestor transformări numărul de spire pe fază se menține; factorul de înfășurare care se calculează la fel ca și în cazul înfășurărilor corespunzătoare din grupe de bobine concentrice, rămîne neschimbat.

Înfășurările constituite din bobine identice cu pasul scurtat se pot deduce și din înfășurările de tipul celor cu pas diametral, prin reducerea deschiderii bobinelor. În acest caz datorită scurtării bobinelor factorul de înfășurare k_{w1d} devine k_{w1s}, iar numărul de spire pe

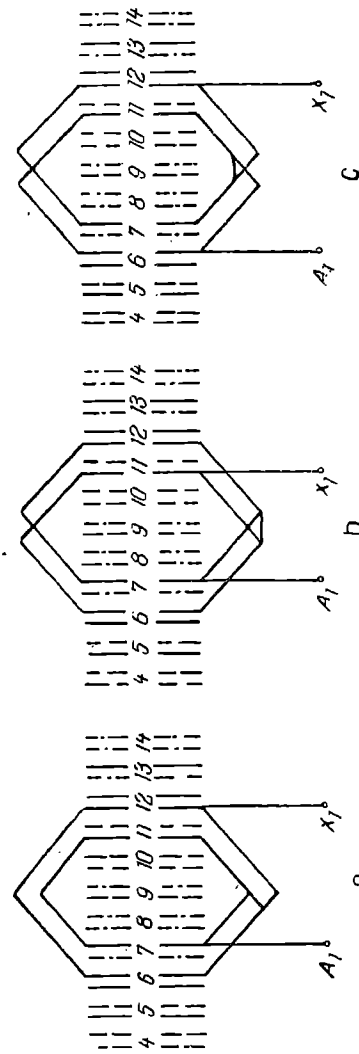


Fig. 5.96. Grupe de două bobine cu pas scurtat; *a* — concentrice; *b*, *c* — decalate.

fază w_d devine w_s; numărul de spire w_s la înfășurarea constituită din bobine cu pasul scurtat este mai mare decît numărul de spire w_d al înfășurării corespunzătoare constituită din bobine cu pasul diametral și se calculează din expresia (5.44).

Schemele oricăror înfășurări cu $2p$ poli, constituite din bobine identice cu pasul scurtat, se pot obține din p scheme ale unei înfășurări bipolare care are aceeași scurtare ca înfășurarea dată și același număr de crestături pe pol și fază.

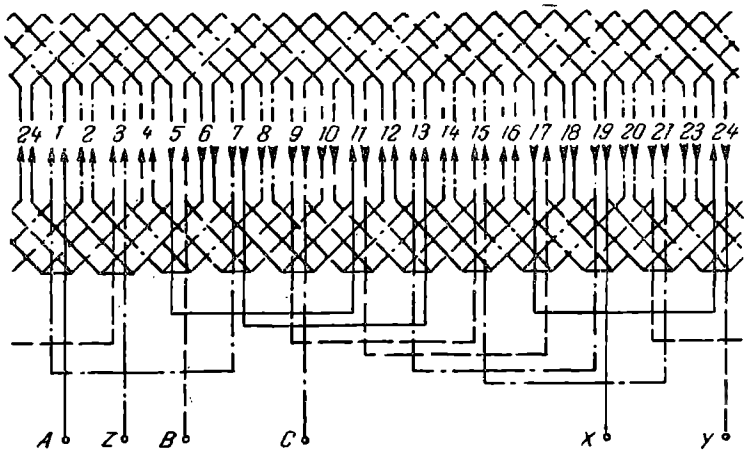


Fig. 5.97. Schema unei înfășurări avînd: $Z=24$; $2p=4$; $q=2$; $m=3$; $y=5$.

Prin scurtarea bobinelor, la o înfășurare cu q dat se modifică factorul de înfășurare datorită schimbării factorului de scurtare, iar factorul de repartizare se menține; produsul dintre factorul de înfășurare pentru fundamentala k_{w1s} și numărul de spire w_{s1} din înfășurarea cu pas scurtat a unei faze, trebuie să fie egal cu produsul dintre factorul de înfășurare pentru fundamentală k_{w1d} și numărul de spire w_d din înfășurarea corespunzătoare cu pas diametral, pentru a se obține aproximativ aceeași tensiune electromotoare indusă în înfășurarea fazei în cele două cazuri. Din această condiție rezultă relația pentru calculul numărului de spire pe fază w_{s2} în cazul înfășurării cu pas scurtat obținută din înfășurarea corespunzătoare avînd o altă scurtare sau pasul diametral:

$$w_{s2} = \frac{k_{w1,\,s1} \cdot w_{s1}}{k_{w1,\,s2}} = \frac{k_{w1,\,d} \cdot w_d}{k_{w1,\,s2}}. \qquad (5.46)$$

Factorii numărătorului expresiei (5.46), sînt cunoscuți de la înfășurarea dată ; factorul de înfășurare de la numitor se calculează cu ajutorul expresiilor (5.20) și (5.22) corespunzător noii înfășurări.

Numărul maxim posibil de căi de curent în paralel pe fază la înfășurările în două straturi, constituite din bobine identice cu pas scurtat, este egal cu $2p$.

Înfășurările în două straturi, din bobine identice cu pasul scurtat, au cea mai largă utilizare în construcția mașinilor electrice. Comparativ cu înfășurările diametrale, necesită o cantitate mai redusă de material conductor și permit obținerea unor caracteristici superioare de funcționare la mașinile electrice. În cazul acestora se utilizează aceleași elemente constructive de bază ca și la înfășurările în coroană, din bobine egale cu pas diametral.

Înfășurări din bobine egale, în două coroane

Aceste înfășurări se obțin din înfășurările în coroană, constituite din bobine identice, prin dispunerea părților frontale ale bobinelor în două coroane. În cazul acestora se deosebesc două tipuri de scheme în funcție de valoarea deschiderii bobinelor. Cînd pasul bobinelor este egal cu un număr par de crestături, în crestăturile impare se vor găsi laturi de bobine ale căror părți frontale formează o coroană, iar în crestăturile pare laturi de bobine ale căror părți frontale formează a doua coroană ; în acest caz, atît laturile de ducere cît și cele de întoarcere ale bobinelor din prima coroană se dispun în crestăturile impare iar cele din a doua coroană în crestăturile pare. Cînd pasul bobinelor exprimat în număr de crestături este impar, dacă laturile de ducere ale bobinelor din prima coroană se dispun în crestăturile impare, atunci laturile de întoarcere revin crestăturilor pare și invers ; bobinele ale căror părți frontale formează a doua coroană vor avea corespunzător laturile de ducere în crestăturile pare și cele de întoarcere în crestăturile impare sau invers. Dispunerea practică a bobinelor în două coroane, este reprezentată în fig. 5.98.

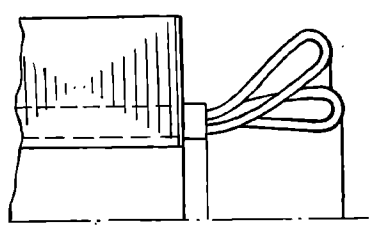


Fig. 5.98. Dispunerea părților frontale ale înfășurării, în două coroane.

La înfășurările în două coroane, se introduc mai întîi în crestături laturile bobinelor ale căror părți frontale se dispun în prima coroană

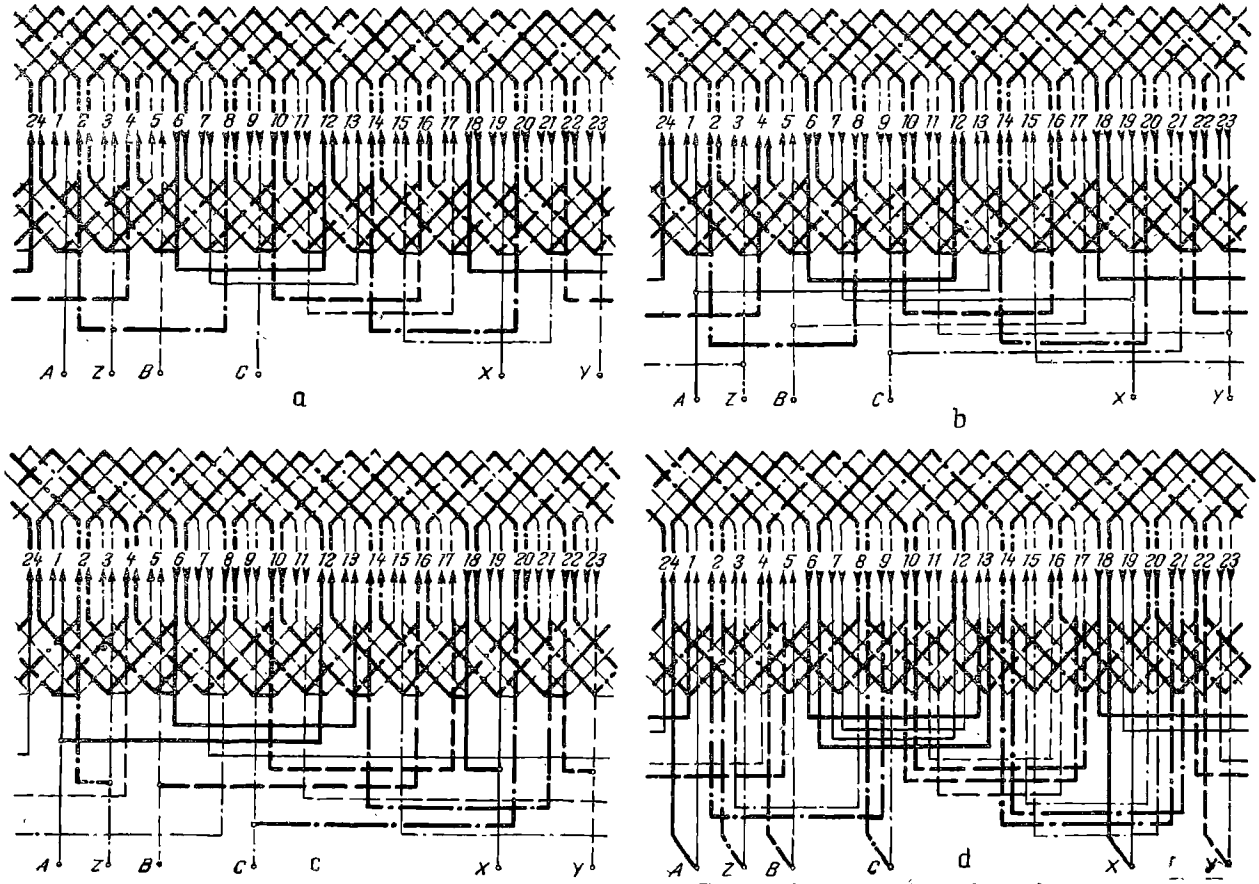


Fig. 5.99. Schema unei înfășurări în două coroane cu : $Z=24$; $2p=4$; $m=3$; $q=2$; $y=6$:
a — cu o cale de curent ($a=1$); *b*, *c*, *d* — cu cîte două căi de circuite pe fază.

și apoi laturile bobinelor ale căror părți frontale formează a doua coroană. În schemele acestor înfășurări, bobinele care revin celor două coroane sînt reprezentate distinct. În fig. 5.99, *a* este reprezentată schema înfășurării în două coroane, avînd aceleași date ca schema înfășurării din fig. 5.94. Pasul bobinelor fiind par, bobinele din aceeași coroană ocupă respectiv fie crestăturile impare fie crestăturile pare. Dacă considerăm că bobinele care au laturile în crestăturile impare aparțin primei coroane, atunci în procesul de bobinare se introduc mai întîi în crestături laturile acestor bobine ; bobinele se introduc în crestături în ordinea în care se succed în coroană părțile lor frontale. A doua coroană se formează în mod similar și este decalată față de prima cu pasul $y_d = 1$ crestături. Schema înfășurării fazei, cu o singură cale de curent, este identică în figurile 5.94 și 5.99, *a*. De remarcat însă că în ultimul caz, bobinele care se succed în înfășurarea fazei aparțin alternativ celor două coroane. Și înfășurările în două coroane se pot realiza cu mai multe căi de curent în paralel pe fază ; numărul maxim posibil de căi este egal cu $2p$ la înfășurările cu q par și cu p la înfășurările cu q impar. Căile de curent trebuie astfel obținute încît între ele să nu apară curenți de circulație ; în cazul acestora se vor respecta aceleași cerințe de la înfășurările în coroană cu bobine egale și, în plus, bobinele pe calea de curent trebuie să fie egal repartizate în cele două coroane. În fig. 5.99, *b, c* și *d* este reprezentată schema înfășurării trifazată, tetrapolară, în două coroane, cu două căi de curent în paralel pe fază. În fig. 5.99, *b* calea de curent este constituită din grupe vecine de bobine care au polaritate simultană opusă, în fig. 5.99, *c* din grupe de bobine care au simultan aceeași polaritate iar în fig. 5.99, *d* bobinele înseriate pe calea de curent au succesiv polaritate diferită și revin succesiv celor două coroane. În ultimul caz sînt posibile și alte scheme distincte ; o variantă ar fi în cazul în care pe calea de curent, jumătate din numărul bobinelor succesive au polaritate simultană opusă și aparțin aceleiași coroane, iar altă variantă cînd jumătate din numărul bobinelor succesive pe calea de curent au simultan aceeași polaritate și revin aceleiași coroane.

În fig. 5.100 este reprezentată schema unei înfășurări tetrapolară, constituită din bobine cu pas scurtat avînd deschiderea egală cu un număr impar de crestături (5 crestături). De remarcat că în cazul înfășurărilor în două coroane cu bobine egale, cu pasul exprimat în număr de crestături impar, prin dispunerea în crestături a bobinelor care revin primei coroane, în toate crestăturile se completează primul strat ; în acest stadiu înfășurarea este într-un strat, în lanț, iar

în părțile frontale s-a obținut prima coroană (v. fig. 5.35). Laturile active ale bobinelor care revin celei de a doua coroane, completează cel de al doilea strat în crestături iar părțile lor frontale formează a doua coroană, coaxială cu prima. În procesul de bobinare laturile de ducere ale bobinelor din a doua coroană se pot dispune fie în crestăturile impare fie în cele pare, spre deosebire de înfășurările constituite din bobine avînd deschiderea egală cu un număr par de

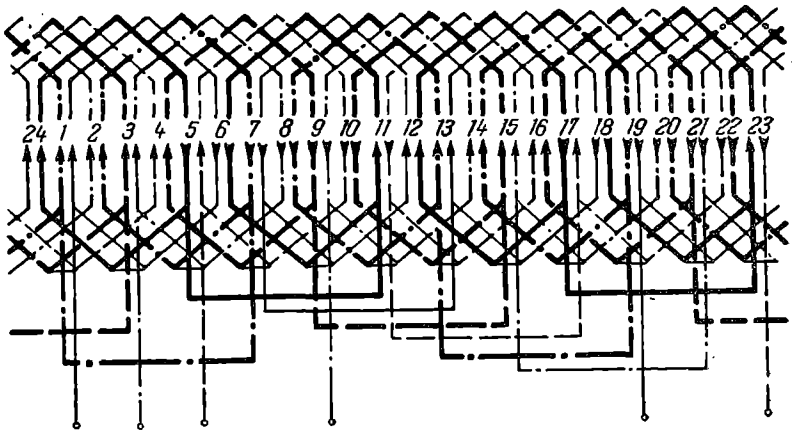


Fig. 5.100. Schema unei înfășurări în două coroane avînd : $Z=24$; $2p=4$; $m=3$; $q=2$; $y=5$.

crestături, în cazul cărora în mod obligatoriu laturile de ducere și respectiv de întoarcere ale bobinelor din a doua coroană sînt dispuse în crestături intercalate față de cele din prima coroană. Pentru a obține o suprafață utilă relativ mare de răcire în părțile frontale ale înfășurării, se preferă și la înfășurările din bobine cu pasul impar ca laturile de ducere și respectiv de întoarcere ale bobinelor din a doua coroană să se dispună în crestături intercalate față de cele din prima coroană (fig. 5.100).

În fig. 5.101, *a* este reprezentată schema unei înfășurări în două coroane, din bobine egale, cu pasul scurtat, avînd deschiderea egală cu un număr par de crestături (10 crestături). Înfășurarea reprezentată în această schemă a fost utilizată la Uzina de Mașini Electrice din București, la mașini sincrone de 25 și 35 kVA.

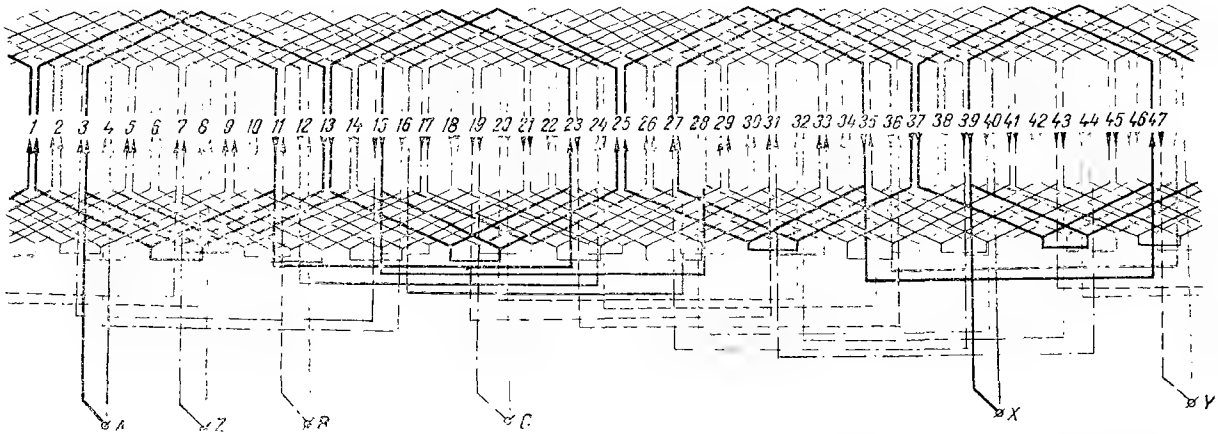


Fig. 5.101. Schema unei înfășurări în două coroane avînd : Z—48 ; $2p$—4 ; m—3 ; q 4 ; y—10 ; a 2.

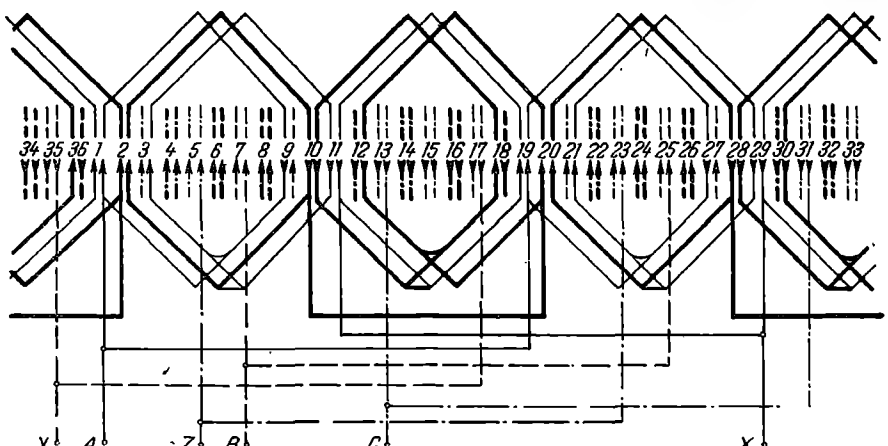


Fig. 5.102. Schema parțială a unei înfășurări în două coroane avînd : Z=36 ; $2p$=4 ; m=3 ; q=3 ; y=8 ; a=2.

La înfășurările în două coroane, din bobine egale, se utilizează ca element constructiv de bază bobina în cazul înfășurărilor cu $q=2$, și respectiv bobina sau grupa constituită din $q/2$ bobine în cazul înfășurărilor cu q par mai mare decît 2. La înfășurările cu q impar mai mare decît 1 se utilizează două tipuri de grupe de bobine, avînd respectiv $(q/2+0{,}5)$ și $(q/2-0{,}5)$ bobine. În fig. 5.102 este reprezentată parțial schema unei înfășurări din două coroane, cu q impar; bobinele componente au pasul scurtat iar deschiderea este egală cu 8 crestături (pasul par); înfășurarea are numărul maxim posibil de căi de curent în paralel ($a=p$).

Înfășurările în două coroane prezintă în părțile frontale, suprafețe utile de răcire relativ mari datorită dispunerii decalate a coroanelor cu pasul $y_d^* = 1$ crestături.

Schemele oricăror înfășurări în două coroane se pot obține prin compunerea schemelor bipolare corespunzătoare, la fel ca în cazul înfășurărilor în două straturi într-o singură coroană.

La înfășurările în două straturi, în două coroane, factorul de înfășurare se calculează cu relațiile corespunzătoare din tabela 5.4.

Înfășurări în evolventă

Înfășurările în evolventă se utilizează îndeosebi la mașinile bipolare de putere mare. La aceste înfășurări, părțile frontale ale bobinelor se dispun fie după două sau un multiplu întreg de două plane perpendiculare pe axul mașinii, fie după două suprafețe conice coaxiale, în ultimul caz fiind denumite și înfășurări în formă de coș.

În fig. 5.103 este reprezentată dispunerea în evolventă în patru plane a părților frontale ale bobinelor din înfășurarea în două straturi iar în fig. 5.104 este reprezentată fotografia unei înfășurări în două straturi, în evolventă, în două plane.

Înfășurările în evolventă avînd părțile frontale ale bobinelor dispuse după două plane perpendiculare pe arborele mașinii au o dimensiune relativ mică în sens axial și respectiv o dimensiune relativ mare a coroanei în sens radial. Pentru a reduce dimensiunea coroanei în sens radial, înfășurările în evolventă se dispun în părțile frontale într-un multiplu de două plane perpendiculare pe arborele mașinii. În aceste cazuri coroanele pot fi dispuse alăturat sau concentric în mod similar celor într-un strat.

La înfășurările în evolventă, fie într-un strat fie în două straturi, capătul de trecere al bobinei de la un plan la altul a celor două coroane este situat la mijlocul deschiderii bobinei.

Un nou tip de înfășurare în două straturi, în evolventă, aparține inginerului S. Fluieraș. Caracteristica acestui nou tip de înfășurare constă în faptul că părțile frontale ale bobinelor componente sînt dispuse în evolventă într-o singură coroană, perpendiculară pe arborele mașinii în fiecare parte laterală a miezului magnetic. Bobinele com-

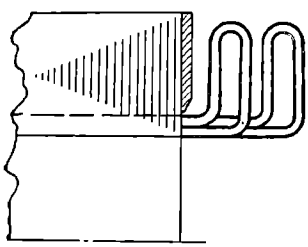


Fig. 5.103. Dispunerea în evolventă în patru plane perpendiculare pe axul de rotație, la înfășurarea în două straturi.

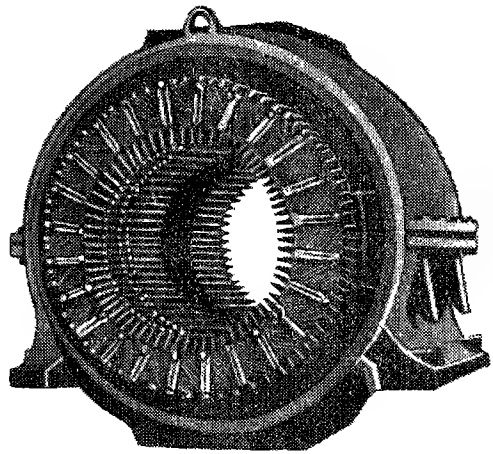


Fig. 5.104. Fotografia unei înfășurări în două plane.

ponente ale acestei înfășurări sînt astfel preformate încît capul de trecere al bobinei, de la coroană la stratul interior din crestătură, este situat în dreptul crestăturii. Înfășurările de acest tip au cea mai mică lungime axială posibilă. Ele mai prezintă avantajul că în cazul rotoarelor bobinate capul de trecere al bobinelor, de la coroană la stratul interior, îndeplinește și rolul de paletă de ventilator, astfel că rotoarele echipate cu astfel de înfășurări nu mai necesită ventilator pentru răcire. Acest tip de înfășurare se aplică îndeosebi la rotoare și este indicat în cazul înfășurărilor constituite din bobine avînd deschiderea, exprimată în număr de crestături, relativ mică, adică la înfășurările cu număr relativ redus de crestături pe pol și fază ($q \ll 3$). Crestăturile în care se dispun laturile bobinelor acestor înfășurări, sînt cu pereții paraleli, iar conductoarele în bobină sînt *dispuse într-un singur rînd în crestătură, radial* iar în partea frontală *(în coroană),*

axial. Fotografia unei porțiuni dintr-o astfel de înfășurare este reprezentată în fig. 5.105. Noul tip de înfășurare a fost aplicat la Uzina de Mașini Electrice-București, la rotoarele bobinate ale motoarelor asincrone din seria unitară.

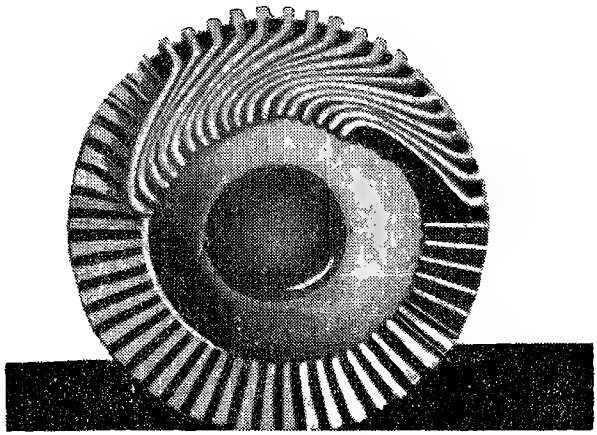


Fig. 5.105. Porțiune dintr-o înfășurare în evolventă, într-un singur plan.

Factorul de înfășurare se calculează și la aceste înfășurări cu relațiile corespunzătoare din tabela 5.4.

Înfășurări cu număr întreg de crestături pe pol și fază, cu extinderea zonelor

Înfășurările în două straturi cu număr întreg de crestături pe pol și fază, cu extinderea zonelor, se obțin din înfășurările corespunzătoare cu șase zone prin mărirea numărului de bobine în grupele cu aceeași polaritate simultană și respectiv prin reducerea cu același număr de bobine a grupelor care au simultan polaritate opusă față de primele.

La înfășurările în două straturi cu șase zone, înfășurarea fiecărei faze este constituită din $2p$ grupe de bobine, fiecare grupă avînd q bobine ale căror laturi de ducere și respectiv de întoarcere sînt dispuse în crestături alăturate ; grupele succesive sînt decalate relativ cu $\frac{Z}{2p}$ crestături.

Cînd grupele impare de bobine din înfășurarea fiecărei faze sînt constituite din n bobine, unde $q<n<2q$ iar grupele pare din cîte $2q—n$ bobine, *înfășurarea este extinsă parțial*. În acest caz, grupele succesive de bobine din înfășurarea aceleiași faze sînt decalate relativ cu $\frac{Z}{2p}$ crestături, iar legăturile între ele se fac sfîrșit cu sfîrșit, început cu început etc.

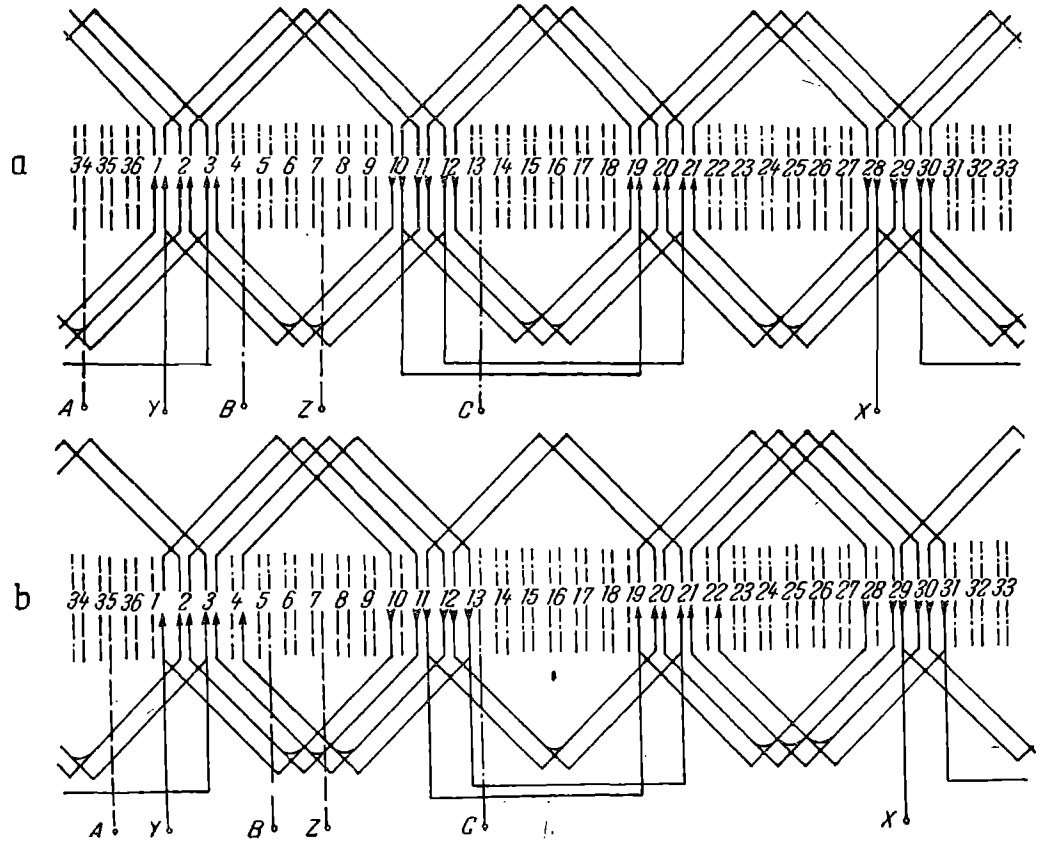
Cînd înfășurările fazelor sînt constituite din cîte p grupe de bobine, fiecare grupă avînd $2q$ bobine, înfășurarea este extinsă total și se numește înfășurare cu *extindere totală a zonelor* ; înfășurările cu extindere totală a zonelor se mai numesc și înfășurări cu trei zone. În cazul acestor înfășurări grupele succesive de bobine din înfășurarea aceleiași faze sînt decalate relativ cu Z/p crestături, iar legăturile între grupe se fac sfîrșit cu început, sfîrșit cu început etc. Dacă la înfășurările cu extindere totală a zonelor, legăturile între grupele succesive de bobine se efectuează între sfîrșit cu sfîrșit, început cu început etc. ; în acest caz numărul de poli ai înfășurării scade la jumătate (respectiv, turația sincronă a cîmpului magnetic învîrtitor produs de înfășurare la trecerea curentului, se dublează). Pe acest principiu se bazează înfășurările cu schimbarea numărului de poli care, dacă sînt în două straturi, în mod absolut obligatoriu trebuie să fie cu extindere totală a zonelor (vezi cap. 6).

În fig. 5.106 este reprezentată schema unei înfășurări tetrapolară, constituită din bobine egale, cu pas diametral, cu șase zone în fig. 5.106, *a*, cu extindere parțială în fig. 5.106, *b* și *c* și cu extindere totală a zonelor în fig. 5.106, *d*. Pentru claritate s-a reprezentat complet numai înfășurarea $A—X$ a primei faze ; pentru înfășurările celorlalte două faze care sînt respectiv identice cu $A—X$ dar sînt decalate succesiv cu 6 crestături, s-au reprezentat numai capetele de legătură ale înfășurărilor de fază și s-a precizat în toate schemele apartenența la diferitele faze a laturilor de bobine din toate crestăturile.

Prin extinderea zonelor factorul de înfășurare scade ; cea mai mică valoare pentru fundamentală se obține la înfășurarea cu extindere totală a zonelor. În exemplul considerat, bobinele înfășurării au pasul diametral iar factorul de înfășurare pentru schema din fig. 5.106, *d* este egal cu factorul de repartizare și se calculează cu expresia (5.20) în care în loc de q se ia $2q$.

În cazul înfășurărilor cu extindere totală a zonelor, constituite din bobine cu pas scurtat, factorul de înfășurare este egal cu produsul dintre factorul de repartizare și factorul de scurtare.

Dacă în fig. 5.106, *d* grupele de bobine s-ar lega sfîrșit cu sfîrșit, înfășurarea ar deveni bipolară iar sfîrșiturile înfășurărilor fazelor ar


a
34 35 36 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33
A
Y
B
Z
C
X
b
34 35 36 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33
A
Y
B
Z
C
X

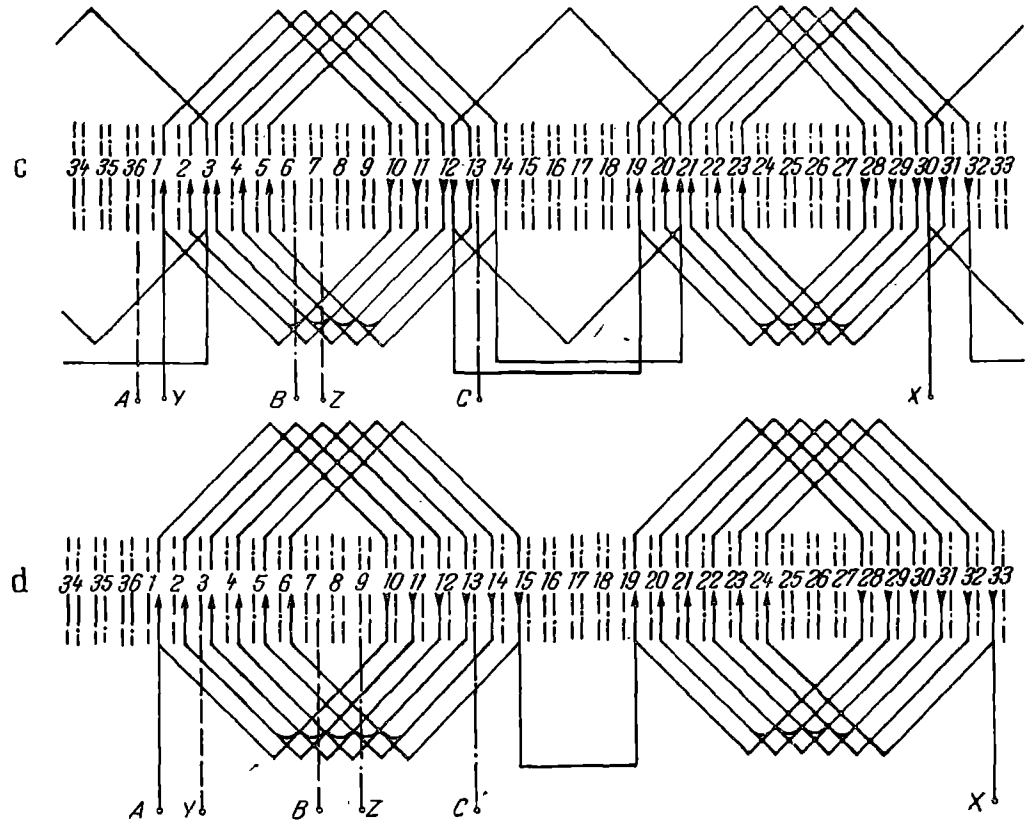


Fig. 5.106. Schema înfășurării $A—X$ dintr-o înfășurare avînd : $Z=36$; $2p=4$; $m=3$; $q=2$; *a* — cu șase zone; *b*, *c* — cu extindere parțială a zonelor; *d* — cu extindere totală a zonelor (trei zone).

fi scoase respectiv din crestăturile : X din 19, Y din 25 și Z din 31. În acest caz factorul de înfășurare este egal cu produsul dintre factorul de repartizare calculat cu expresia (5.20) și factorul de scurtare calculat cu expresia (5.22) în care scurtarea se raportează la pasul polar corespunzător înfășurării bipolare.

La înfășurările cu extinderea zonelor, grupele pot fi constituite din bobine cu aceeași deschidere sau cu deschidere diferită. Pasul bobinelor poate fi diametral, scurtat sau lungit. Toate tipurile de înfășurări în două straturi pot fi transformate în înfășurări cu extinderea zonelor, după exemplul din fig. 5.106. Dacă notăm cu $k_{w_{1i}}$ și cu w_i factorul de înfășurare și respectiv numărul de spire pe fază pentru înfășurarea inițială, atunci numărul de spire pe fază w_f la înfășurarea finală va fi :

$$w_f = w_i \frac{k_{w_{1i}}}{k_{w_{1f}}}. \tag{5.47}$$

Avantajul esențial al înfășurărilor cu extinderea zonelor constă în faptul că, la aceeași deschidere a bobinelor, se pot obține factori de înfășurare diferiți în funcție de numărul bobinelor din grupele de bobine. În afară de aceasta, înfășurările cu extindere totală a zonelor prezintă posibilitatea obținerii de înfășurări cu schimbarea numărului de poli (vezi cap. 6).

Înfășurări cu număr întreg de crestături pe pol și fază, cu intercalarea fazelor

Spre deosebire de înfășurările într-un strat în cazul cărora intercalarea fazelor se obține prin scurtarea pasului bobinelor, la înfășurările în două straturi intercalarea fazelor se poate obține independent de deschiderea bobinelor. Se întîlnesc astfel intercalări ale fazelor aplicate înfășurărilor constituite din bobine cu pasul diametral, cu pasul scurtat și în unele cazuri intercalarea fazelor se combină cu extinderea zonelor.

Prin intercalarea corespunzătoare a fazelor se pot suprima sau reduce anumite armonici din curba tensiunii electromotoare indusă în înfășurare și în mod corespunzător scad pierderile în fier și în înfășurare.

Înfășurările în două straturi prezintă mai multe posibilități de intercalare a fazelor decît înfășurările corespunzătoare într-un strat. La înfășurările în două straturi se pot obține intercalări complete unilaterale sau bilaterale, simple sau multiple, la fel ca la înfășurările într-un strat și în plus, intercalări parțiale. De remarcat că la înfășu-

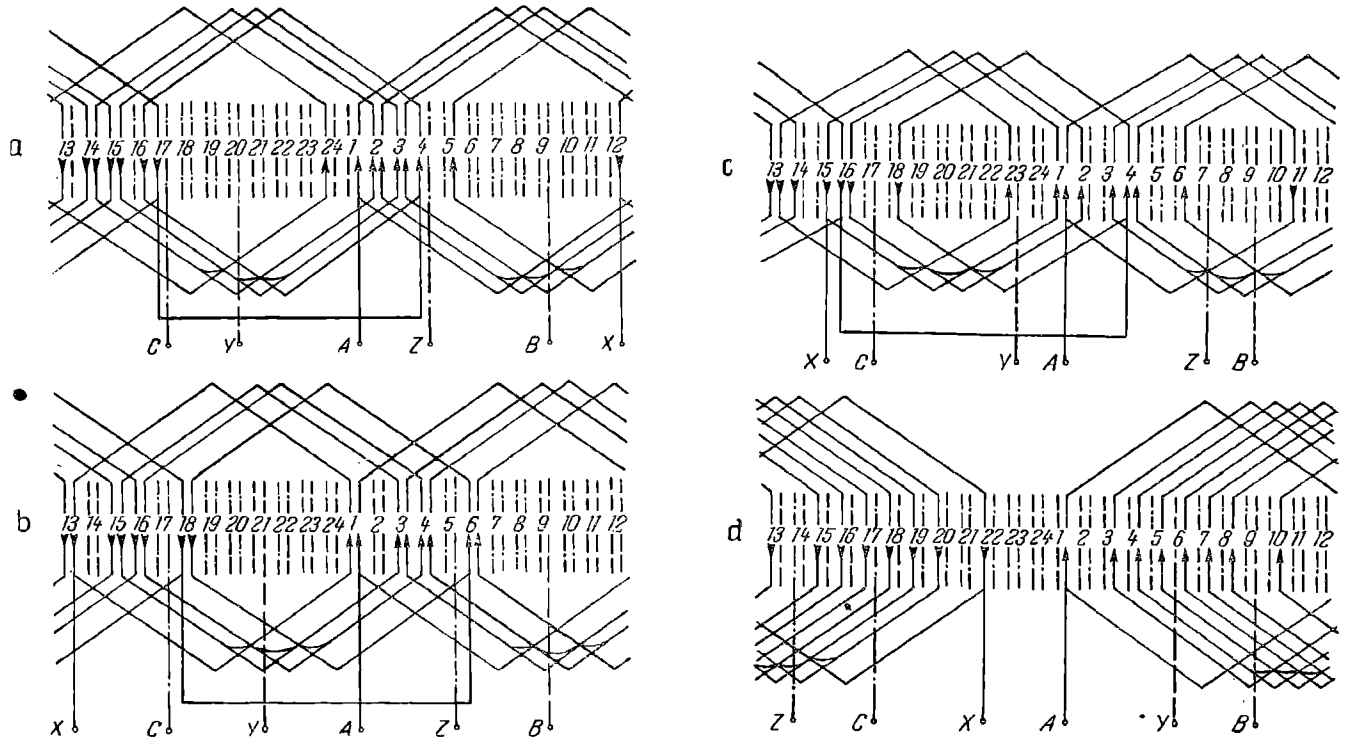


Fig. 5.107. Schema înfășurării A—X a unei înfășurări având : Z=24 ; $2p$=2 ; m=3 ; q=4 ;

a — cu intercalare bilaterală simplă; parțială; *b* — cu intercalare bilaterală simplă, completă; *c* — cu intercalare bilaterală dublă, parțială și completă; *d* — cu extindere totală și intercalare bilaterală simplă parțială.

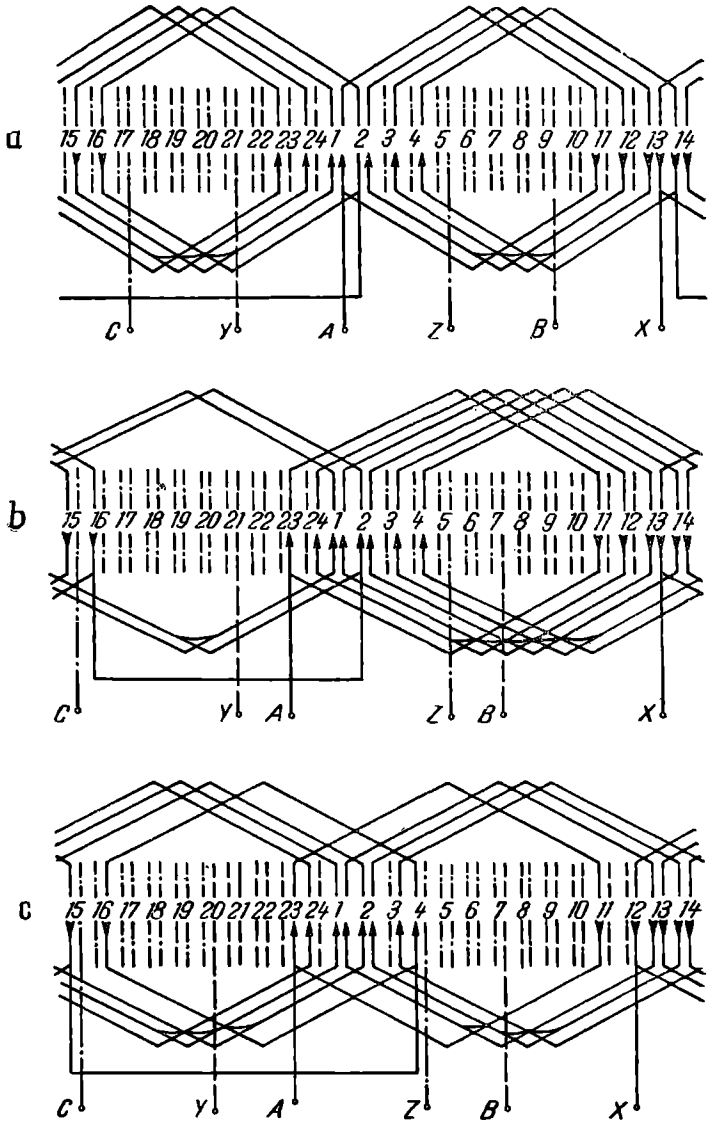


Fig. 5.108. Schema unei înfășurări avînd același factor de înfășurare :

a — cu pas scurtat; *b* — cu extindere parțială a zonelor; *c* — cu intercalarea fazelor.

rările în două straturi, cu intercalarea unilaterală a fazelor, în curba tensiunii electromotoare apar armonici de ordin par dacă deschiderea bobinelor componente este diferită de pasul polar. Pentru aceste armonici factorii de înfășurare nu pot fi calculați cu expresiile valabile numai pentru armonici impare, stabilite în 5.2.2.

În fig. 5.107 sînt reprezentate exemple de scheme de înfășurări obținute dintr-o înfășurare bipolară prin aplicarea intercalării fazelor unilaterale, bilaterale, cu sau fără scurtarea pasului.

În fig. 5.108 sînt reprezentate trei scheme pentru înfășurări bipolare avînd același factor de înfășurare ; în fig. 5.108, *a* înfășurarea este cu șase zone, constituită din bobine cu pas scurtat, în fig. 5.108 *b* și *c* bobinele au pasul diametral iar înfășurarea este cu extindere parțială a zonelor în fig. 5.108, *b* și cu intercalare bilaterală, simplă, parțială, în fig. 5.108, *c*.

Înfășurări cu număr fracționar de crestături pe pol și fază, cu toate crestăturile complet bobinate

La înfășurările în două straturi cu număr fracționar de crestături pe pol și fază și cu toate crestăturile complet bobinate, numărul total de bobine N_{tb} și numărul de bobine pe fază N_{bf} se exprimă prin relațiile :

$$N_{tb}=Z; \tag{5.40'}$$

$$N_{bf}=\frac{N_{tb}}{m}=\frac{Z}{m}, \tag{5.41'}$$

în care Z este numărul de crestături și m numărul de faze.

Numerele de bobine N_{tb} și N_{bf} în cazul înfășurării în două straturi, sînt duble față de numerele corespunzătoare de bobine ale înfășurării într-un strat care are același număr de crestături. La înfășurările în două straturi numărul total de bobine trebuie să fie divizibil numai prin numărul de faze, spre deosebire de înfășurările într-un strat la care numărul total de bobine trebuie să fie divizibil prin dublul numărului de faze. Prin aceasta, posibilitățile de execuție a înfășurărilor în două straturi sînt mai avantajoase ; la aceste înfășurări se obțin curbe ale tensiunii magnetice mai favorabile.

Înfășurările în două straturi cu q fracționar, simetrice, trebuie să satisfacă următoarele condiții :

$$N_{bf}=\frac{Z}{m}=\text{număr întreg}; \tag{5.48}$$

$$\frac{N_{bf}}{t}=\frac{Z}{mt}=\text{număr întreg}, \tag{5.49}$$

în care t este cel mai mare divizor comun al numerelor de crestături Z și de perechi de poli p.

În cazul acestor înfășurări numărul de crestături pe pol și fază se poate scrie sub forma

$$q=\frac{Z}{2pm}=\frac{N_{bf}}{2p}=n+\frac{d}{2p}, \tag{5.50}$$

în care n este un număr întreg (inclusiv valoarea zero) iar d este un număr întreg mai mic decît numărul de poli $2p$.

Înfășurările la care raportul $\frac{d}{p}$ nu se mai poate simplifica sînt înfășurări primitive sau elementare, iar cele la care raportul $\frac{d}{p}$ se poate simplifica, adică d și p au un divizor comun, sînt înfășurări compuse sau derivate. Înfășurările compuse sau derivate conțin un număr de înfășurări elementare sau primitive egal cu divizorul comun al numerelor d și p.

Spre exemplu, înfășurarea trifazată bipolară ($p=1$) cu $q=n+\frac{d}{2p}=1+\frac{1}{2\cdot1}$ este o înfășurare elementară avînd $Z=2pmq=2\cdot1\cdot3\cdot1{,}5=9$ crestături, iar înfășurările compuse constituite respectiv din două și trei asemenea înfășurări elementare vor avea: $p=2$, $Z=18$,

$$q=\frac{N_{bf}}{2p}=\frac{\frac{Z}{m}}{2p}=\frac{\frac{18}{3}}{2\cdot2}=\frac{6}{2\cdot2}=1+\frac{2}{2\cdot2}$$ și

respectiv $p=3$, $Z=27$, $q=\frac{\frac{Z}{m}}{2p}=\frac{\frac{27}{3}}{2\cdot3}=\frac{9}{2\cdot3}=1+\frac{3}{2\cdot3}$; în cazul acestor două înfășurări compuse divizorul comun al numerelor d și p este egal cu 2, respectiv cu 3.

De remarcat că înfășurările compuse au aceleași q cu înfășurările elementare constitutive.

Întrucît înfășurările în două straturi cu număr fracționar de crestături pe pol și fază spre deosebire de înfășurările într-un strat ($N_{bf}=pq$) se pot executa și pentru numărul de perechi de poli $p=1$ ($N_{bf}=2pq$); rezultă că înfășurările în două straturi avînd numere de perechi de poli divizibile prin 3, sînt înfășurări compuse.

În cele ce urmează se vor trata, la fel ca și în cazul înfășurărilor într-un strat, numai înfășurări elementare, înfășurările compuse fiind constituite din înfășurări elementare.

Înfășurări trifazate, la care numărul crestăturilor Z și numărul perechilor de poli p sînt prime între ele (p este impar)

Considerăm înfășurarea elementară avînd $Z=9$, $2p=2$ și $q=1+\frac{1}{2\cdot1}$ a cărei schemă desfășurată este reprezentată în fig. 5.109. În cazul acestei înfășurări numărul de bobine pe fază este $N_{bf}=\frac{Z}{m}-\frac{9}{3}=3$; înfășurarea se poate construi o singură cale de curent (înfășurările fazelor sînt constituite fiecare din $N_{bf}=3$ bobine legate în serie). Pentru schema din fig. 5.109, *a*, înfășurarea are factorul de repartizare pentru fundamentala maxim posibil iar factorul de înfășurare se calculează conform tabelei 5.4, punctul 10.

În cazul schemei din fig. 5.109, *b* înfășurarea este cu trei zone și are factorul de repartizare pentru fundamentală mai mic decît în cazul schemei din fig. 5.109, *a*; factorul de înfășurare se calculează conform tabelei 5.4, punctul 7.

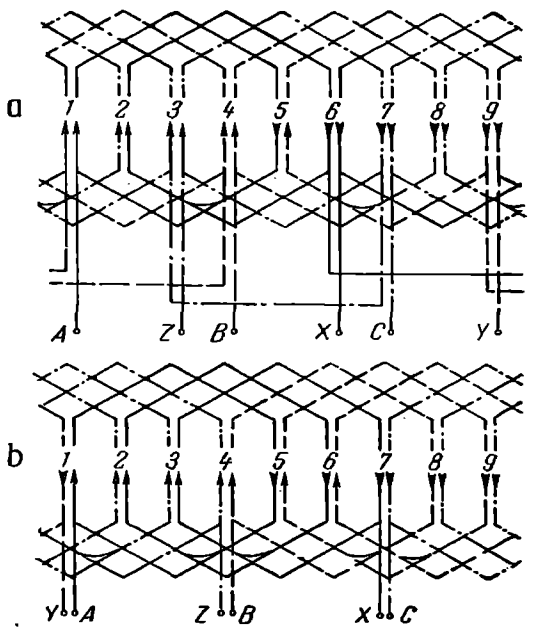


Fig. 5.109. Schema unei înfășurări avînd: $Z=9$; $2p=2$; $m=3$; $q=1^4/_2$;
a — cu factor de înfășurare maxim; *b* — cu extinderea totală a zonelor.

Înfășurările multipolare avînd $q=1{,}5$ sînt înfășurări compuse din p înfășurări elementare avînd $q=1{,}5$. În cazul unei înfășurări tetrapolare $q=n+\frac{d}{2p}=1+\frac{2}{2\cdot2}=1{,}5$ iar în cazul înfășurării hexapolare $q=n+\frac{d}{2p}=1+\frac{3}{2\cdot3}=1{,}5$ înfășurarea tetrapolară conține două înfășurări elementare ($p=2$) iar înfășurarea hexapolară trei înfășurări elementare ($p=3$). În mod similar se pot stabili schemele oricăror

înfășurări avînd q dat pornind de la înfășurarea elementară corespunzătoare avînd același q.

La înfășurările compuse numărul maxim posibil de căi de curent în paralel pe fază este egal cu numărul înfășurărilor elementare pe

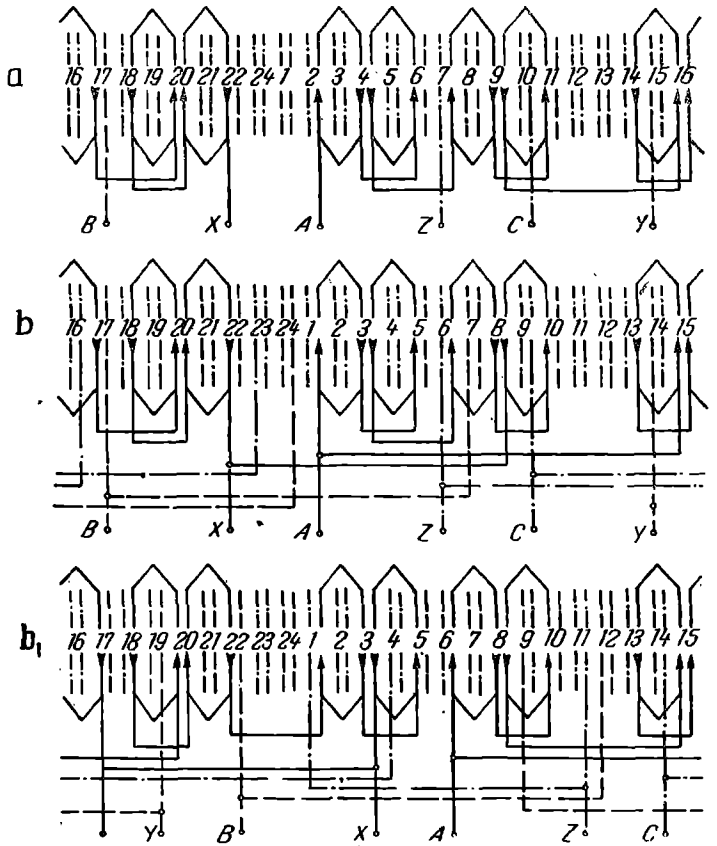


Fig. 5.110. Schema unei înfășurări avînd : $Z=24$; $2p=10$; $m=3$; $q=\frac{4}{5}$;

a — cu o cale de curent pe fază; *b* și b_1 — cu cîte două căi de curent de fază.

care le conține înfășurarea compusă ($a_{max}=p$) iar factorul de înfășurare se calculează la fel ca la înfășurarea elementară.

care le conține înfășurarea compusă ($a_{bf}=p$) iar factorul de înfă- obține pe fază cîte două căi de curent în paralel. Spre exemplu,

înfășurarea din fig. 5.74, dacă se execută în două straturi așa cum se arată în fig. 5.110, se obține N_{bf} = număr par și se poate realiza cu două căi de curent în paralel pe fază.

De remarcat că dacă factorul de înfășurare pentru fundamentală are valoarea maximă în cazul înfășurării într-un strat (fig. 5.74), prin transformarea înfășurării în două straturi și dacă se păstrează aceeași deschidere a bobinelor (fig. 5.110), factorul de repartizare al înfășurării în două straturi este egal cu factorul de înfășurare al înfășurării într-un strat, iar pentru a obține factorul de înfășurare la înfășurarea în două straturi trebuie înmulțit factorul de repartizare cu factorul de scurtare (v. tabela 5.4, punctul 10).

Înfășurările în două straturi cu număr fracționar de crestături pe pol și fază ($q>1$) pot fi realizate cu extinderea zonelor și intercalarea fazelor, pentru a reduce sau suprima anumite armonici din curba tensiunii electromotoare indusă în înfășurare.

Înfășurări trifazate, la care numărul de crestături Z și numărul perechilor de poli p au un divizor comun t

La înfășurările trifazate cu numerele de crestături Z și de perechi de poli p având un divizor comun t, valoarea maximă posibilă a factorului de repartizare este mai mică la înfășurările într-un strat decît la înfășurările în două straturi. Spre exemplu, înfășurarea având $Z=18$, $2p=4$, $q=1+\frac{1}{2}$ executată într-un strat (fig. 5.76), este o înfășurare primitivă și are factorul de repartizare pentru fundamentală $k_{q1}=0{,}922$ iar dacă se execută în două straturi cuprinzînd de două ori schema înfășurării din fig. 5.109, *a*, factorul de repartizare pentru fundamentală devine $k_{q1}=0{,}96$. Factorul de înfășurare k_{w1}, corespunzător celor două scheme are aceeași valoare 0,942, însă în cazul dispunerii în două straturi curba tensiunii magnetice este considerabil mai bună decît în cazul înfășurării într-un strat.

De observat că înfășurarea într-un strat din fig. 5.76, care este o înfășurare primitivă ; dacă se dispune în crestături în două straturi cu factor de repartizare maxim, înfășurarea devine compusă (din două înfășurări primitive sau elementare, avînd schema din figura 5.109, *a*).

În mod similar înfășurările având Z și p cu divizor comun t executate în două straturi, cu k_q maxim posibil, sînt înfășurări compuse din p înfășurări elementare cu $\frac{1}{t}$ perechi de poli (înfășurarea compusă și respectiv elementară are aceeași valoare pentru q). Așadar,

cu înfășurări elementare de tipul celor prezente în paragraful precedent avînd q dat, se pot obține înfășurările compuse de tipul celor prezentate în prezentul paragraf avînd aceeași valoare pentru q. Spre exemplu, înfășurarea avînd $Z=45$, $2p=10$, $t=5$ și $q=1+\frac{2}{2\cdot 5}$, conține cinci înfășurări bipolare avînd $q=1+\frac{1}{2}$. La aceste înfășurării factorul de înfășurare are aceeași valoare cu factorul de înfășurare al înfășurării elementare.

Înfășurări trifazate cu șase laturi de bobine libere

Înfășurările trifazate cu șase laturi de bobine libere, se obțin din înfășurările într-un strat cu trei crestături libere prin dispunerea acestora în crestături în două straturi. Înfășurările trifazate cu șase laturi de bobine libere, fiind înfășurări în două straturi, se pot executa și cu număr par de crestături, spre deosebire de înfășurările într-un strat cu trei crestături libere care se pot executa numai cu număr impar de crestături.

La aceste înfășurări, dacă t este cel mai mare divizor comun al numerelor de crestături Z și de perechi de poli p, atunci înfășurările cu șase laturi de bobine libere, cu q fracționar, trebuie să îndeplinească condițiile :

$$Z=2N_{bf}+3=\text{număr întreg.} \qquad (5.51, a)$$

$$\frac{Z}{mt}=\frac{N_{bf}+1}{t}=\text{număr întreg.} \qquad (5.51, b)$$

În cazul înfășurărilor cu N_{bf} = număr par de bobine, factorul de repartizare maxim pentru fundamentală este egal cu factorul de înfășurare al înfășurării corespunzătoare într-un strat. La înfășurările cu N_{bf}=număr impar (Z este par), valoarea factorului de înfășurare depinde de poziția crestăturilor avînd laturi de bobine libere. La aceste înfășurări tensiunea electromotoare indusă în înfășurarea unei faze este rezultanta unui număr impar (N_{bf} = număr impar) de tensiuni elementare, iar factorul de înfășurare se calculează cu expresii diferite de cele prezentate în tabela 5.4.

Înfășurările în două straturi cu șase laturi de bobine libere, dacă se execută din bobine avînd aceeași deschidere, pot fi simetrice pentru oricare valoare a numărului de perechi de poli p.

5.2.5. Înfășurări de curent alternativ în două straturi avînd bobine cu numere diferite de spire

În § 5.2.4. s-a presupus că înfășurările în două straturi sînt constituite din bobine avînd același număr de spire. La aceste înfășurări în fiecare crestătură se găsește un număr par de conductoare.

La înfășurările în două straturi cu număr impar de conductoare în crestătură, bobinele componente nu au toate același număr de spire ; în cazul acestora, jumătate din numărul bobinelor au cîte w_b spire și jumătate cîte $(w_b \pm 1)$ spire. La aceste înfășurări se recurge de obicei cînd numărul de conductoare care revin unei crestături (v. relația 5.12) este impar și relativ redus, iar rotunjirea la un număr par ar conduce la soluții necorespunzătoare. Schemele acestor înfășurări sînt identice cu schemele corespunzătoare ale înfășurărilor constituite din bobine cu același număr de spire. În procesul de bobinare a înfășurărilor avînd bobine cu numere diferite de spire, problema esențială constă în a stabili, în funcție de pasul bobinelor, ordinea în care trebuie să alterneze laturile bobinelor pentru a se îndeplini condiția ca în fiecare crestătură să fie același număr impar de conductoare.

La înfășurările cu șase zone constituite din bobine concentrice cu pasul mediu pe grupă diametral sau din bobine identice avînd pasul diametral, în mod alternativ în crestături se vor succeda q laturi de bobine de ducere sau de întoarcere avînd w_b spire, cu q laturi de bobine avînd $(w_b \pm 1)$ spire. Prin această dispunere în toate crestăturile se va obține același număr de conductoare ; spre exemplificare, este reprezentată schema din fig. 5.111, *a*, corespunzătoare unei înfășurări constituită din bobine egale avînd deschiderea egală cu pasul diametral. În fig. 5.111, *b* înfășurarea este constituită din bobine egale avînd pasul scurtat iar în cazul acesteia în crestăturile succesive alternează laturi de ducere sau de întoarcere de bobine avînd w_b respectiv $(w_b \pm 1)$ spire. Pentru alte înfășurări ordinea în care alternează laturile bobinelor în crestăturile succesive se stabilește de la caz la caz, după schema corespunzătoare a înfășurării.

În cazul înfășurărilor constituite din bobine cu numere diferite de spire, se pot obține căi de curent în paralel identice dacă numărul de spire pe fiecare cale este același iar spirele ocupă aceeași poziție în cîmp în toate căile de curent.

Înfășurările trifazate constituite din bobine avînd numere diferite de spire (w_b și $w_b \pm 1$ spire) se execută obișnuit ca înfășurări cu șase zone.

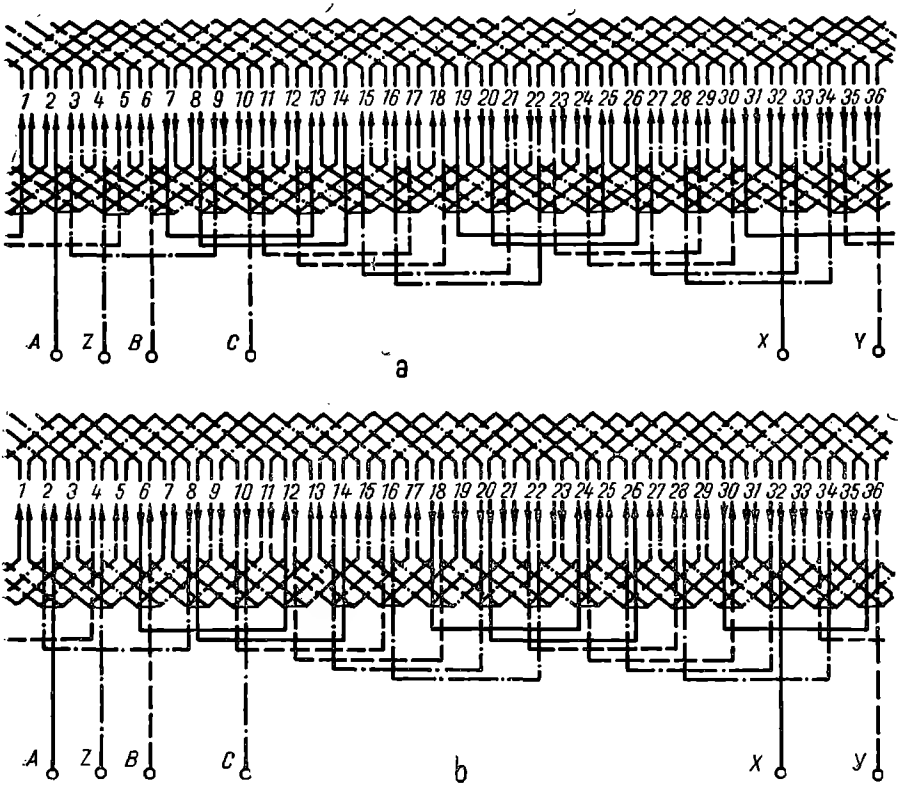


Fig. 5.111. Schema unei înfășurări avînd : $Z=36$; $2p=4$; $m=3$; $q=2$;
a — cu pas diametral; *b* — cu pas scurtat.

5.2.6. Înfășurări de curent alternativ trifazate dispuse parțial într-un strat și parțial în două straturi ($q>1$)

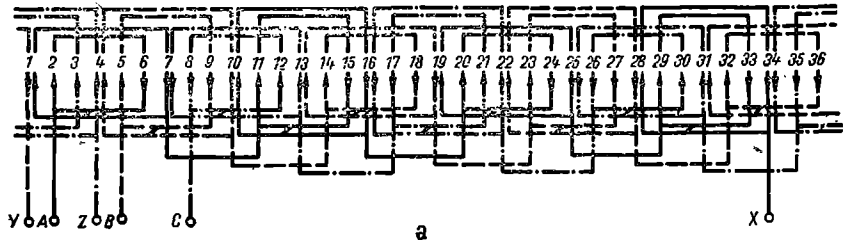
Înfășurările dispuse în anumite crestături într-un strat și în altele în două straturi, sînt înfășurări cu q fracționar > 1. Părțile frontale ale bobinelor sau grupelor de bobine la aceste înfășurări se dispun în două etaje sau în coroană de grupe de bobine concentrice. În cele ce urmează se vor reprezenta schemele unor astfel de înfășurări

numai în două etaje ; pentru trecerea de la dispunerea în două etaje la dispunerea în coroană de grupe de bobine concentrice, vezi 5.2.3.

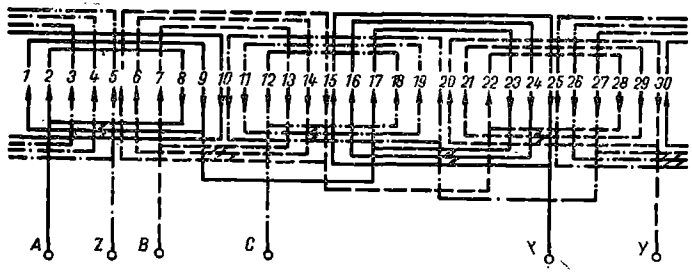
Înfășurările dispuse în crestături parțial într-un strat și parțial în două straturi asigură o repartizare spațială mai simetrică a cîmpului magnetic învîrtitor, în comparație cu înfășurările similare într-un strat. Numărul de crestături în care înfășurarea se dispune în două straturi și respectiv într-un strat, este determinat la un număr m de faze dat, de valoarile lui q și p. La înfășurările trifazate, laturile bobinelor care se dispun în crestături în două straturi aparțin întotdeauna la faze diferite. În cazul înfășurărilor cu q fracționar de forma $1^1/_2$, $2^1/_2$, $3^1/_2$, $4^1/_2$ . . ., într-un număr de $3p$ crestături înfășurarea este în două straturi și în $(Z—3p)$ crestături, este într-un strat. Schemele unor astfel de înfășurări sînt reprezentate în fig. 5.112. De observat că grupele de bobine ale aceleiași înfășurări sînt constituite fiecare din același număr de bobine (două bobine în grupă pentru $q=1\frac{1}{2}$, trei bobine pentru $q=2\frac{1}{2}$ și patru pentru $q=3\frac{1}{2}$ etc.). Evident că numărul de spire din bobinele ale căror laturi se dispun în crestături în două straturi (fig. 5.112, *a*, *b*, *c*, bobinele exterioare din grupe), este egal cu jumătate din numărul de spire al bobinelor care au laturile dispuse în crestături într-un strat. În înfășurarea fazei se succed grupe cu numere diferite de spire. La aceste înfășurări numărul maxim de căi de curent în paralel este $a_{max}=p/2$. Reamintim că prin realizarea de a căi de curent în paralel, numărul de spire din grupele de bobine va fi de a ori mai mare iar secțiunea conductorului de bobinaj, la aceeași densitate de curent, va fi de a ori mai mică decît valorile corespunzătoare ale înfășurării similare cu o singură cale de curent.

În schemele reprezentate în fig. 5.112, capetele de legătură ale înfășurării fazelor sînt scoase grupat la placa de borne în fig. 5.112, *a* și *b*, și respectiv din crestături echidistanțate în fig. 5.112, *c* (v. § 5.2.2).

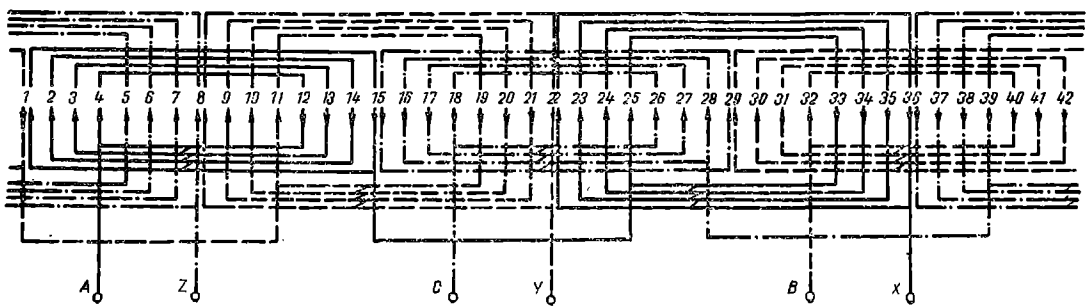
Alte înfășurări care se dispun în crestături parțial într-un strat și parțial în două straturi, sînt înfășurările avînd q fracționar egal cu $1^1/_4$; $1^3/_4$; $2^1/_4$; $2^3/_4$; $3^1/_4$; $3^3/_4$; $4^1/_4$; $4^3/_4$. Pentru a rezulta un număr întreg de crestături în cazul utilizării acestor tipuri de înfășurări, numărul de perechi de poli trebuie să fie par. Exemple de scheme ale unor astfel de înfășurări sînt reprezentate în fig. 5.113, *a*, *b*, *c*, și *d*.



a



b



c

Fig. 5.112. Schemele unor înfăşurări, dispuse în crestături parţial într-un strat, parţial în două straturi avînd :

a — $Z=36$; $2p=8$; $q=1\frac{1}{2}$; $m=3$;

b — $Z=30$; $2p=4$; $q=2\frac{1}{2}$; $m=3$.

c — $Z=42$; $2p=4$; $q=3\frac{1}{2}$; $m=3$.

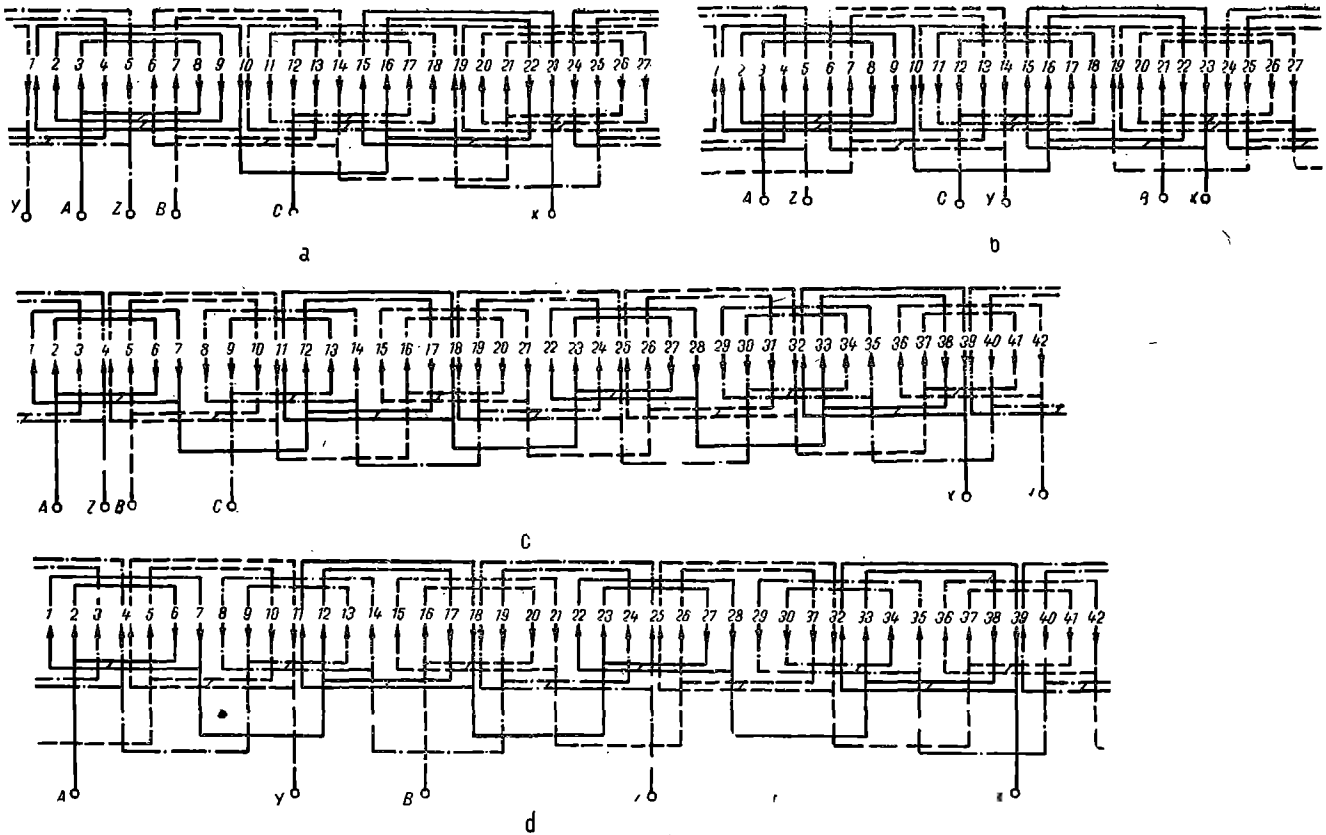


Fig. 5.113. Înfășurări trifazate dispuse în crestături parțial într-un strat, parțial în două straturi avînd :
a și *b* : $Z=27$; $2p=4$; $m=3$; $q=2\frac{1}{4}$; *c* și *d* : $Z=42$; $2p=8$; $m=3$; $q=1\frac{3}{4}$.

În cazul înfășurărilor cu q fracționar>1, la care partea fracționară este $^1/_4$ sau $^3/_4$ din întreg, numai jumătate din numărul grupelor au același număr de bobine în grupă și anume $(q+a_1)$ bobine, restul grupelor având fiecare $(q—a_2)$ bobine ; a_1 fiind fracțiunea care adunată la q dă numărul întreg imediat superior lui q, iar $a_2=1—a_1$ fracțiunea care scăzută din q dă numărul întreg imediat inferior lui q. La aceste înfășurări, într-un număr de $1{,}5p$ crestături înfășurarea se dispune în două straturi și în $(Z—1{,}5p)$ crestături, într-un strat. Bobinele ale căror laturi se dispun în crestături în două straturi pot face parte din grupe ale căror părți frontale se dispun în primul sau al doilea etaj. Este avantajos, având în vedere eventualele rebobinări parțiale, ca aceste bobine să facă parte din grupele de bobine ale căror părți frontale se dispun în etajul al doilea (exemplele din fig. 5.113, *c* și *d*).

În cazul rotoarelor echipate cu astfel de înfășurări, este indicat ca grupele cu $(q—a_2)$ bobine să revină etajului al doilea ; prin aceasta, în timpul funcționării, efectul forțelor centrifuge asupra părților frontale ale înfășurării este mai redus în comparație cu cazul în care grupele cu $(q+a_1)$ bobine ar reveni etajului al doilea.

În schemele din fig. 5.113, capetele de legătură ale înfășurărilor fazelor s-au scos grupat în fig. 5.113, *a* și c și din crestături echidistante în fig. 5.113, *b* și *d* (ultimele scheme se utilizează pentru înfășurările rotoarelor cu inele de contact).

La înfășurările cu q fracționar având partea fracționară $^1/_4$ sau $^3/_4$ din întreg, dispuse în anumite crestături într-un strat și în altele în două straturi, numărul maxim posibil de căi de curent în paralel este egal cu p/2, p fiind numărul perechilor de poli. La aceste înfășurări, pe calea de curent trebuie să se succeadă în mod obligatoriu grupe având $(q+a_1)$ bobine cu grupe având $(q—a_2)$ bobine.

5.3. ÎNFAȘURĂRI ÎN BARE

Înfășurările în două straturi constituite din bobine cu o singură spiră (din semispire), se pot executa după scheme diferite de cele prezentate anterior ; caracteristic pentru aceste tipuri de înfășurări îl constituie modul particular de realizare a capetelor de bobină de partea legăturilor. Aceste înfășurări necesită un consum mai redus de material conductor și prezintă o simplificare a procesului tehnologic dacă bobinele formate din semispire se execută de forma bobinelor ondulate întîlnite la înfășurările tip indus de curent continuu.

La rotoarele motoarelor asincrone de putere medie și mare cu inele de contact, se utilizează aproape în exclusivitate înfășurări în două straturi, în cazul cărora se folosește ca element constructiv de bază semispira. Aceste înfășurări sînt denumite *în bare* întrucît bobinele lor sînt constituite fiecare din cîte două semispire.

Crestăturile în care se dispun semispirele acestor înfășurări sînt de obicei semiînchise ; în acest caz semispirele se introduc axial în crestături în procesul de bobinare. Semispirele care revin stratului exterior au o lungime desfășurată mai mare decît cele care se dispun în stratul interior, primele fiind curbate în părțile frontale după o rază relativ mai mare.

Înfășurările în bare ale rotoarelor se execută după scheme de înfășurări ondulate, bobinele componente fiind constituite în procesul de bobinare prin mufarea și lipirea, de partea opusă inelelor de contact, a capetelor de legătură a semispirelor decalate între ele cu un unghi corespunzător deschiderii bobinei. Bobinele astfel constituite vor avea cîte o singură spiră iar începuturile și sfîrșiturile lor vor fi de aceeași parte a rotorului, spre inelele de contact.

Numărul total de bobine ale înfășurării este egal cu numărul de crestături (înfășurare în două straturi) adică :

$$N_{tb} = Z = 2pqm. \tag{5.52}$$

În cazul înfășurărilor trifazate, o treime din numărul acestor bobine revin înfășurării unei faze :

$$N_{bf} = \frac{N_{tb}}{m} = \frac{N_{tb}}{3} = 2pq. \tag{5.53}$$

Înfășurarea fiind ondulată, ea este constituită pe fiecare fază din $2q$ înconjururi ale rotorului ; q înconjururi într-un sens și q înconjurări în sens contrar, fiecare înconjur avînd p bobine. Bobinele succesive din același înconjur sînt decalate relativ cu un dublu pas polar, adică cu $\frac{Z}{p}$ crestături.

Înconjururile în același sens se leagă între ele în serie și formează, în cazul înfășurărilor cu q întreg, jumătate din înfășurările de fază. Legăturile dintre înconjururile succesive în același sens se numesc *legături de trecere* ; acestea pot avea deschideri mai mici sau mai mari decît pasul polar. În primul caz legăturile de trecere sînt neîncrucișate, iar în al doilea caz încrucișate dacă bobinele au deschiderea egală cu pasul polar. Cele două jumătăți ale înfășurării unei faze, formate respectiv din q înconjururi în sens contrar, se unesc între ele *prin legătura de întoarcere.*

În cazul înfășurărilor ondulate cu q fracționar de forma $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$ etc., înfășurarea unei faze va fi compusă din următoarele înconjururi : două într-un sens și unul în sens contrar pentru $q=1\frac{1}{2}$, trei într-un sens și două în sens contrar pentru $q=2\frac{1}{2}$, patru într-un sens și trei în sens contrar pentru $q=3\frac{1}{2}$ și așa mai departe.

Începutul primului înconjur într-un sens și sfîrșitul ultimului înconjur în sens contrar din înfășurarea unei faze, reprezintă de fapt începutul și sfîrșitul înfășurării fazei respective, dacă aceasta este formată dintr-o singură cale de curent. După STAS 3530-52 începuturile înfășurărilor trifazate ale rotoarelor bobinate, cu inele de contact, se notează respectiv cu a, b și c iar sfîrșiturile corespunzătoare cu x, y și z.

În fig. 5.114 este reprezentată schema desfășurată a unei înfășurări ondulate cu o singură cale de curent pe fază. Datele înfășurării sînt : $Z=24$, $2p=4$, $q=2$. Bobinele constituite din semispire au pasul diametral $y=6$ crestături (*1* la 7), iar legăturile de întoarcere, care unesc înconjurările de un sens cu cele de sens contrar ale înfășurărilor de fază, sînt notate cu *I—IV* pentru prima fază, cu *II—V* pentru a doua și cu *III—VI* pentru a treia.

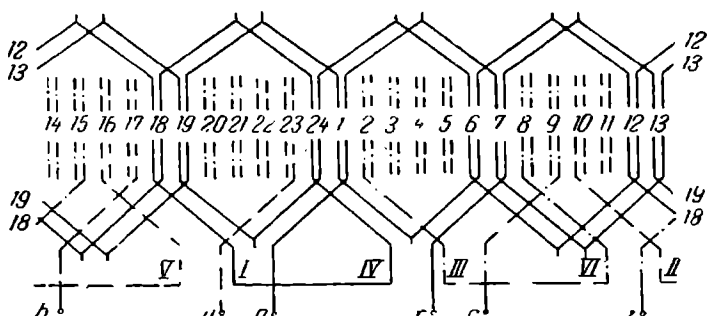


Fig. 5.114. Schema unei înfășurări avînd : $Z=24$; $2p=4$; $m=3$; $q=2$.

În fig. 5.114 s-a reprezentat complet numai înfășurarea primei faze, pentru înfășurările celorlalte două faze sînt reprezentate numai capetele de legătură ale înfășurărilor (începuturile și sfîrșiturile) și legăturile de întoarcere. În exemplul prezentat $q=2$ și în corespondență cu aceasta, înfășurarea fiecărei faze este compusă din patru înconjururi ale rotorului ($2q=4$), două într-un sens și două în sens contrar, fiecare înconjur avînd p bobine, două în cazul de față ($p=2$). La înfășurările ondulate, cele q înconjururi care formează semiînfă-

şurarea unei faze *se leagă întotdeauna în serie,* iar legătura de întoarcere uneşte sfîrşitul primelor înconjururi într-un sens, cu începutul înconjururilor în sens contrar, dacă înfăşurarea are o singură cale de curent. Înfăşurarea primei faze avînd capetele de legătură (extremităţile) notate, începutul cu a şi sfîrşitul cu x (v. fig. 5.114), se compune astfel : bobinele dispuse în crestăturile *1—7* şi *13—19,* înseriate între ele, formează primul înconjur al rotorului într-un sens ; al doilea înconjur în acelaşi sens este format din bobinele dispuse în crestăturile *24—6* şi *12—18. Legătura de trecere* între înconjururile succesive de acelaşi sens uneşte semispira *19* cu semispira *24. Legătura de întoarcere I—IV* uneşte sfîrşitul înconjururilor de un sens cu începutul înconjururilor de sens contrar, ultimele fiind compuse din bobinele dispuse în crestăturile *24—18* şi *12—6* pentru primul înconjur şi respectiv din cele dispuse în crestăturile *1—19* şi *13—7* pentru al doilea înconjur. Legătura de trecere între aceste înconjururi uneşte semispira *6* cu semispira *1.* De observat că legăturile de trecere între înconjururile succesive de acelaşi sens sînt neîncrucişate şi au deschiderea $y_1=5$ crestături, mai mică decît pasul polar $\frac{Z}{2p}=6$ crestături. Cu înfăşurarea primei faze s-a ocupat o treime din numărul crestăturilor rotorului, cîte două pe fiecare pol ($q=2$). Înfăşurările celorlalte două faze sînt identice cu prima şi sînt decalate succesiv cu $Z\left(\frac{1}{3p}+\frac{k}{p}\right)$ crestături, decalaj corespunzător unghiului de fază la înfăşurările trifazate (v. 5.2.2). În exemplul considerat $k=1$ şi corespunzător acestei valori, la înfăşurarea dată, capetele de legătură ale înfăşurărilor fazelor sînt scoase la inelele de contact din crestături echidistante (120° geometrice). Posibilitatea de a scoate capetele de legătură ale înfăşurărilor trifazate la inelele de contact, din crestături echidistante, există la toate înfăşurările care nu au p impar şi multiplu de trei. La înfăşurările trifazate care au p şi impar multiplu de trei, în crestăturile aflate la 120° geometrice se găsesc laturi de bobine de ducere, respectiv de întoarcere care aparţin la aceeaşi fază. În cazul acestor înfăşurări capetele de legătură ale înfăşurărilor de fază precum şi legăturile de întoarcere nu se mai pot dispune între ele simetric la periferia rotorului şi apare o dezechilibrare uşoară a rotorului.

În general înfăşurările ondulate formate din semispire, necesită o cantitate minimă de material conductor pentru înfăşurare, dacă deschiderea bobinelor componente este egală cu pasul polar. În cazul rotoarelor echipate cu astfel de înfăşurări bobinele componente vor avea în toate cazurile posibile (q întreg) deschiderea egală cu pasul polar.

5.3.1. Înfășurări cu legături de întoarcere

Înfășurările ondulate, în două straturi, din bobine cu pas diametral constituite din semispire, se pot executa după trei scheme distincte.

O schemă se obține cînd *pasul legăturilor de trecere dintre înconjururile succesive în ambele sensuri este scurtat cu o crestătură față de pasul diametral* $\left(\frac{Z}{2p}\text{ crestături}\right)$ al bobinelor componente.

O a doua schemă se obține cînd *pasul legăturilor de trecere este lungit între înconjururile succesive de un sens și scurtat între înconjururile de sens contrar*; în acest caz pasul legăturilor de trecere este lungit, respectiv scurtat, cu o crestătură față de pasul diametral al bobinelor.

La al treilea tip de schemă *pasul legăturilor de trecere dintre înconjururile succesive în ambele sensuri, este lungit cu o crestătură* față de pasul diametral al bobinelor.

În fig. 5.115 sînt reprezentate cele trei scheme pentru o înfășurare avînd $Z=36$; $2p=4$; $q=3$. În fig. 5.115, *a* pasul legăturilor de trecere dintre înconjururile succesive este egal cu 8 crestături (din crestăturile *28—36* și *27—35* pentru cele trei înconjururi de un sens și din crestăturile *8—36* și *9—1* pentru înconjururile de sens contrar). În fig. 5.115, *b* legăturile de trecere între primele trei înconjururi de un sens sînt efectuate între crestăturile *28—2* și *29—3* ($y_l=10$ crestături) iar cele dintre înconjururile de sens contrar între crestăturile *10—2* și *11—3* ($y_l=8$ crestături). În fig. 5.115, *c* pasul legăturilor de trecere este egal cu 10 crestături și legăturile unesc semispirele dispuse în crestăturile *28—2* și *29—3* pentru înconjururile primului sens, respectiv pe cele dispuse în crestăturile *13—2* și *11—1* pentru celelalte înconjururi.

În comparație cu înfășurările tip indus de curent continuu în cazul cărora legăturile la lamelele colectorului pot fi neîncrucișate (pasul la colector scurtat pentru înfășurările buclate și respectiv lungit pentru cele ondulate) sau încrucișate (pasul la colector lungit pentru înfășurările buclate și respectiv scurtat pentru ondulate), înfășurările după schema din fig. 5.115, *a* au legăturile de trecere neîncrucișate între înconjururile succesive în ambele sensuri; cele după schema din fig. 5.115, *b* au legăturile de trecere încrucișate între înconjururile primului sens și respectiv neîncrucișate între înconjururile de sens contrar, iar la înfășurările realizate după schema din fig. 5.115, *c* au legăturile de trecere încrucișate între înconjururile succesive în ambele sensuri.

Din examinarea schemelor reprezentate în fig. 5.115 rezultă că *legăturile de întoarcere cele mai scurte* se obțin în cazul schemei din fig. 5.115, *b*. La înfășurările realizate după această schemă pasul legăturilor de întoarcere este cu două crestături mai

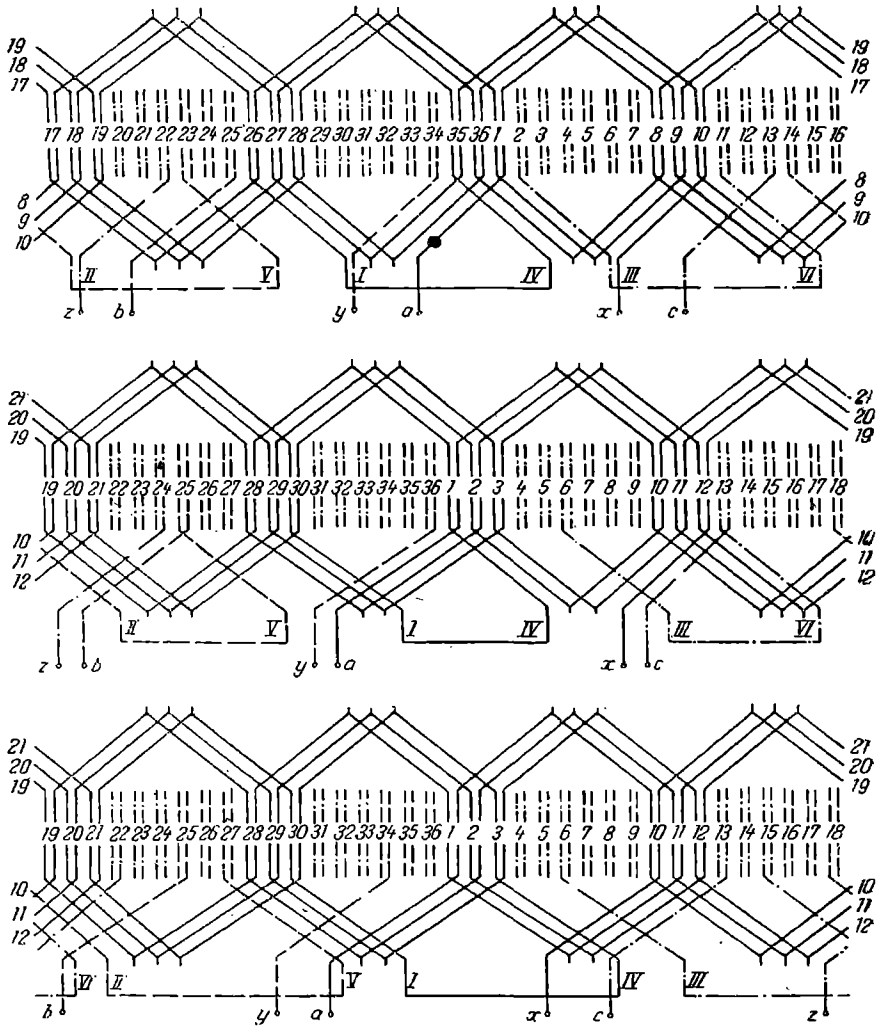


Fig. 5.115. Schema unei înfășurări cu : $Z=36$; $2p=4$; $m=3$; $q=3$;
a — cu legături de trecere neîncrucișate; *b* — cu legături de trecere încrucișate într-un sens și neîncrucișate în sens opus; *c* — cu legături încrucișate.

mic decît pasul diametral. La înfășurările realizate după celelalte două scheme ale căror tipuri sînt reprezentate în fig. 5.115, *a* și *c*, pasul legăturilor de întoarcere este egal cu pasul diametral. În practică, atunci cînd se urmărește obținerea unei dimensiuni axiale minime a înfășurării (înspre inelele de contact), se adoptă tipul de schemă cu legături de trecere neîncrucișate. În acest caz se utilizează o cantitate relativ redusă de material conductor pentru înfășurare și probabilitatea scurtcircuitării înconjururilor este practic eliminată în comparație cu celelalte scheme. Cu toate acestea, în construcția înfășurărilor se utilizează și schemele cu legături de trecere încrucișate ; acestea se preferă deoarece la rebobinare se pot reutiliza semispirele vechii înfășurări după recondiționarea lor. În aceste cazuri rebobinarea se face după scheme cu legături neîncrucișate semispirele acestor înfășurări fiind relativ mai scurte decît a celor cu legături de trecere încrucișate.

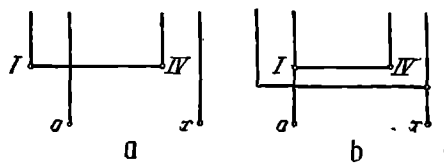


Fig. 5.116. Schema de conexiune a înfășurării *A—X* :
a — cu o cale de curent; *b* — cu două căi de curent.

Tipurile de scheme reprezentate mai sus, după care se execută înfășurările ondulate în două straturi, din bobine cu pas diametral constituite din semispire, au cîte o singură cale de curent pe fiecare fază. Aceste înfășurări se pot realiza ușor și cu două căi de curent în paralel ; în acest caz înconjururile înfășurării fazei într-un sens și respectiv în sens opus trebuie să fie echivalente din punct de vedere electric.

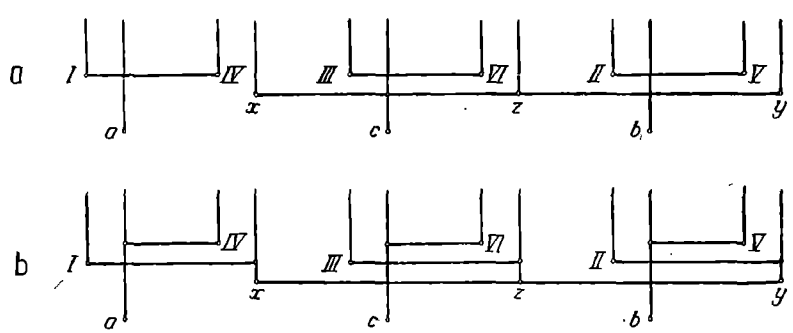


Fig. 5.117. Schema de conexiuni a înfășurării trifazate :
a — cu o cale de curent; *b* — cu două căi de curent.

În fig. 5.116 sînt reprezentate legăturile corespunzătoare ale înfășurării „*a*—*x*", pentru o cale de curent în fig. 5.116, *a* și pentru două căi de curent în fig. 5.116, *b*.

Schema legăturilor unei înfășurări trifazate conectată în stea, cu o cale de curent și cu două căi de curent în paralel pe fază este reprezentată în fig. 5.117.

5.3.2. Înfășurări fără legături de întoarcere

Legăturile de întoarcere notate respectiv pentru cele trei faze cu *I—IV*, *II—V* și *III—VI* (v. 5.114 și 5.115) sînt formate din conductor profilat avînd secțiunea egală cu a conductorului semispirei și se numesc în practică bare de legătură.

La rotoarele motoarelor asincrone de putere medie legăturile de întoarcere sînt preformate dintr-un singur conductor împreună cu cîte două semispire ; aceste semispire se dispun în crestături în stratul interior și cu ele se începe bobinarea propriu-zisă. Uneori legăturile de întoarcere se sudează de cele două semispire înainte de introducerea lor în crestături. La aceste înfășurări sînt necesare ca elemente constructive de bază *Z* semispire pentru stratul exterior, (*Z*—6) semispire pentru stratul interior și trei bare de legătură, fiecare fiind legată cu cîte două semispire care revin stratului interior.

La rotoarele mașinilor asincrone de putere mare, legăturile de întoarcere se unesc cu capetele de legătură ale semispirelor corespunzătoare, prin mufe și se lipesc împreună, după introducerea semispirelor în crestături. În aceste cazuri se utilizează ca elemente constructive de bază ale înfășurării, *Z* seminpire pentru stratul exterior, *Z* semispire pentru stratul interior și trei bare de legătură.

În general prezența legăturilor de întoarcere complică și îngreuiază procesul de bobinare al înfășurărilor pentru că ele impun scoaterea capetelor de legătură ale înfășurărilor de fază, la inelele de contact, de la semispire situate în crestături în stratul exterior. În practică s-au introdus tipuri de înfășurări ondulate, din semispire, fără legături de întoarcere care prezintă o bobinare mai simplă. De fapt, la aceste înfășurări rolul legăturilor de întoarcere îl îndeplinesc trei semispire (în cazul înfășurărilor trifazate) care sînt trecute în crestături dintr-un strat în altul. Semispirele care prin trecerea dintr-un strat în altul pot înlocui legăturile de întoarcere, ocupă fiecare cîte o crestătură iar porțiunile lor frontale, de o parte și de alta a miezului magnetic, sînt îndoite în aceeași parte la fel ca semispirele unei înfășurări buclate. Spațiile libere care se formează în crestătură ca urmare a trecerii semispirei dintr-un strat în altul, se comple-

tează cu conductor avînd secţiunea semispirei, pentru a consolida semispira de trecere (altfel, în timpul mişcării s-ar distruge izolaţia).

Schema unei înfăşurări trifazate tetrapolare fără legături de întoarcere este reprezentată în fig. 5.118. La această înfăşurare semispirele care îndeplinesc rolul legăturilor de întoarcere au laturile dispuse în crestăturile *26* pentru prima fază, *14* pentru a doua şi *2* pentru a treia.

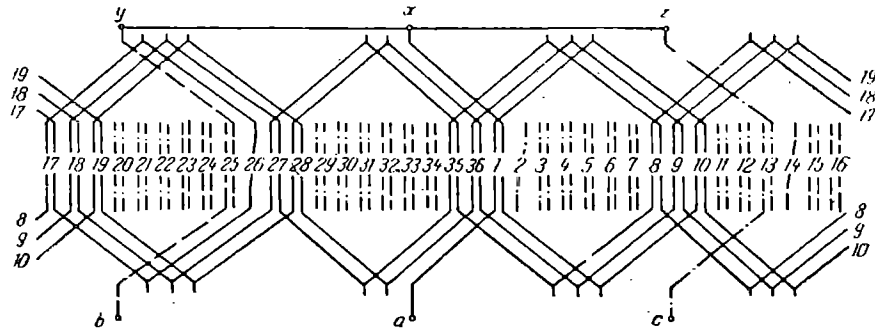


Fig. 5.118. Schema unei înfăşurări avînd : $Z=36$; $2p=4$; $m=3$; $q=3$.

La înfăşurarea reprezentată, între înconjururile succesive ale înfăşurărilor de fază, în ambele sensuri, legăturile de trecere sînt neîncrucişate. Înfăşurările fără legături de întoarcere se execută şi ca înfăşurări cu legături de trecere încrucişate.

De observat că la înfăşurările fără legături de întoarcere legarea în stea a înfăşurărilor se face de partea opusă inelelor de contact şi din această cauză, din fiecare înfăşurare de fază lipseşte cîte o semispiră în comparaţie cu înfăşurările corespunzătoare cu legături de întoarcere. Ca urmare a acestui fapt tensiunile electromotoare induse în înfăşurările fazelor sînt mai reduse. În exemplul dat numărul de semispire pe fază este egal cu $(4pq-1)$ adică 23 de semispire faţă de 24, cu $4{,}16\%$ mai puţin decît la înfăşurarea corespunzătoare cu legături de întoarcere. Legăturile la inele sînt scoase din stratul inferior.

5.3.3. Tabelă cu conexiunile între elementele înfăşurării pe fază, la înfăşurările cu legături de întoarcere

Schemele desfăşurate ale înfăşurărilor ondulate pot fi executate pe baza indicaţiilor cuprinse într-o tabelă. În acest scop semispirele din stratul exterior se notează cu *1e, 2e, 3e ... Ze*, iar cele din stratul

interior cu *1i, 2i, 3i ... Zi* ; semispirele *1e* și *1i* sînt situate în crestătura *1*, *2e* și *2i* în crestătura *2*, *3e* și *3i* în crestătura *3* etc. Tabela se întocmește pentru fiecare fază separat și include legăturile succesive dintre semispirele care revin înfășurărilor de fază *a—x*, *b—y* și *c—z*.

Pentru întocmirea tabelei trebuie cunoscute datele caracteristice ale înfășurării, adică numerele de crestături *Z*, de poli *2p*, de crestături pe pol și fază *q* și deschiderea *y* a bobinelor. Trebuie de asemenea cunoscute în funcție de tipul de schemă adoptat, pasul legăturilor de trecere între înconjurările succesive în ambele sensuri precum și pasul legăturilor de întoarcere.

Pentru exemplificare se prezintă tabela conexiunilor în cazul înfășurării din fig. 5.115, *a*. Datele caracteristice ale înfășurării sînt : $Z=36$; $2p=4$; $q=3$; $y=\frac{Z}{p}=9$ crestături ; legăturile de trecere între înconjurările succesive ale înfășurării sînt în ambele sensuri neîncrucișate, adică au pasul mai mic cu o crestătură decît pasul diametral, iar legăturile de întoarcere au pasul egal cu pasul polar $\left(\frac{Z}{2p}\right.$ crestături$\left.\right)$. Pentru înfășurarea *a—x*, se procedează astfel : începutul *a* al înfășurării este legat la semispira *1e* iar al doilea capăt de legătură al semispirei *1e* trebuie unit de partea opusă inelelor de contact, conform pasului de bobinare $y=\frac{Z}{2p}=9$ crestături, cu semispira $1+9=10i$. În urma acestei legături, între capetele de legătură ale semispirelor *1e* și *10i* înspre inelele de contact s-a obținut o bobină a înfășurării fazei (bobina este constituită dintr-o singură spiră). Decalajul dintre cele *p* bobine succesive ale aceluiași înconjur, este egal cu $\frac{Z}{p}$ crestături, iar semispirele succesive ale aceluiași înconjur sînt decalate cu $\frac{Z}{2p}$ crestături pentru bobinele cu pas diametral ; pentru bobinele care au pasul diferit de pasul polar, decalajul dintre semispirele succesive ale aceluiași înconjur alternează între o valoare mai mică decît pasul polar și una mai mare decît pasul polar, abaterile față de pasul polar, ale celor două valori, sînt egale. În consecință capătul de legătură al semispirei *10i* dinspre inelele de contact, trebuie unit cu capătul semispirei din stratul exterior avînd numărul $19e\left(\text{adică } 10+\frac{Z}{2p}\right)$. În continuare, celălalt capăt al semispirei *19e* trebuie unit cu semispira *28i* $\left(\text{adică } 19+\frac{Z}{2p}\right)$. Între capetele de legătură ale semispirelor *1e* și *28i*, dinspre inelele de contact, s-a obținut

primul înconjur din înfășurare. Legătura de trecere la al doilea înconjur al înfășurării este neîncrucișată, pasul ei este mai mic cu o crestătură decît pasul polar. În consecință semispira *28i* trebuie unită cu semispira *36e* $\left(\text{adică } 28+\frac{Z}{2p}-1\right)$. Celelalte trei semispire din al doilea înconjur sînt decalate între ele succesiv cu $\frac{Z}{2p}$ crestături, iar legăturile succesive vor fi *36e—9i*, *9i—18e* și *18e* cu *27i*. Al treilea înconjur al înfășurării fazei în același sens se obține prin efectuarea următoarelor legături : legătura de trecere neîncrucișată (scurtată) unește semispirele *27i* cu *35e* iar următoarele legături unesc între ele semispire decalate succesiv cu $\frac{Z}{2p}$ crestături, adică *35e* cu *8i*, *8i* cu *17e* și *17e* cu *26i*. Între capetele de legătură ale semispirelor *1e* și *26i*, înspre inelele de contact, s-a obținut jumătate din înfășurarea *a—x* formată din *q* înconjururi (în cazul de față $q=3$), fiecare înconjur avînd *p* spire (în cazul de față $p=2$). A doua jumătate a înfășurării *a—x* este compusă de asemenea din *q* înconjururi a cîte *p* bobine, sensul de parcurgere al acestora fiind invers față de sensul celor din prima jumătate a înfășurării. Cele două semiînfășurări sînt unite între ele prin legătura de întoarcere *I—IV*, care în cazul înfășurărilor cu legături de trecere neîncrucișate între înconjururile succesive, în ambele sensuri (fig. 5.115, *a*) are pasul egal cu pasul polar $\left(\frac{Z}{2p}\right.$ crestături$\left.\right)$. Pentru obținerea celei de a doua jumătăți a înfășurării *a—x* se realizează legăturile în același fel ca și în cazul primei jumătăți. Legătura de întoarcere *I—IV* unește ultima semispiră din ultimul înconjur al primei jumătăți de înfășurare cu prima semispiră a primului înconjur din a doua jumătate a înfășurării fazei, respectiv *26i* cu *35i*, apoi primul înconjur presupune legăturile succesive *35i* cu *26e*, *26e* cu *17i* și *17i* cu *8e*. Cu legătura de trecere *8e—36i* începe al doilea înconjur care necesită în ordine următoarele legături : *36i* cu *27e*, *27e* cu *18i* și *18i* cu *9e*. A doua legătură de trecere între înconjururile celui de-al doilea sens unește semispirele *9e* cu *1i* iar din cea de a doua jumătate a înfășurării are legăturile *1i* cu *28e*, *28e* cu *19i* și *19i* cu *10e*. S-a obținut astfel înfășurarea *a—x* a primei faze, constituită din $2q$ înconjururi ale rotorului, q într-un sens și q în sens contrar, fiecare înconjur avînd *p* bobine (în total $2pq$ bobine pe fază).

Înfășurările celorlalte două faze sînt identice cu a primei faze și sînt decalate succesiv între ele cu $Z\left(\frac{1}{3p}+\frac{k}{p}\right)$ crestături, k fiind un multiplu întreg inclusiv zero.

În tabela 5.7 sînt indicate separat legăturile succesive dintre semispirele care compun înfășurările *a—x*, *b—y* și *c—z* ale celor trei faze.

Tabela 5.7

Ordinea conexiunilor între elementele înfășurării reprezentată în fig. 5.115, a

Înfășurarea a—x :	
a — 1e —10i —19e —28i —	legătura de trecere cu pasul 8 crestături
—36e — 9i —18e —27i —	» » » » » » »
—35e — 8i —17e —26i —	legătura de întoarcere I—IV cu pasul 9 crestături
—35i —26e —17i —18e —	legătura de trecere cu pasul 8 crestături
—36i —27e —18i — 9e —	» » » » »
— 1i —28e —19i —10e — x	
Înfășurarea b—y	
b —25e —34i — 7e —16i —	legătura de trecere cu pasul 8 crestături
—24e —33i — 6e —15i —	» » » » » » »
—23e —32i — 5e —14i —	legătura de întoarcere II—V cu pasul 9 crestături
—23i —15e — 5i —32e —	legătura de trecere cu pasul 8 crestături
—24i —16e — 6i —33e —	» » » » » » »
—25i —17e — 7i —34e — y	
Înfășurarea c—z	
c —13e —22i —31e —41i —	legătura de trecere cu pasul 8 crestături
—12e —21i —30e — 3i —	» » » » » » »
—11e —20i —29e — 2i —	legătura de întoarcere III—VI cu pasul 9 crestături
—11i — 2e —29i —20e —	legătura de trecere cu pasul 8 crestături
—12i — 3e —30i —21e —	» » » » » » »
—13i — 4e —31i —22e — z	

De observat că tabela de legături a înfășurării unei faze cuprinde $2q$ linii orizontale și pe fiecare linie sînt indicate semispirele care unite succesiv prin mufe, alternativ de o parte și de alta a miezului magnetic, formează cîte un înconjur de înfășurare. Pe fiecare fază, numărul de semispire pe linia orizontală este egal cu numărul de poli (în exemplul considerat $2p=4$).

Legătura de trecere unește prin mufe capătul de legătură al ultimei semispire din înconjurul precedent cu al primei semispire din înconjurul următor în același sens, de partea inelelor de contact. Ea poate avea pasul mai mic cu o crestătură decît pasul bobinelor la treceri neîncrucișate (tabela 5.7) și respectiv mai mare cu o crestătură pentru trecere încrucișate. Legătura de întoarcere are pasul egal cu pasul polar (cazul tipurilor de scheme reprezentate în fig. 5.115,*a* și *c*) ; în cazul tipului de schemă din fig. 5.115, *b* legătura de întoarcere are pasul egal cu $\left(\frac{Z}{2p}-2\right)$ crestături. Ea unește, de partea inelelor de contact, ultimul înconjur al înfășurării din primul sens, cu primul înconjur de sens contrar.

De remarcat că legăturile de trecere unesc capetele de legătură ale semispirelor din stratul interior spre exterior la înconjururile primului sens și respectiv din stratul exterior spre interior între înconjururile de sens opus, luîndu-se ca sens de parcurgere al înfășurării sensul de la începutul spre sfîrșitul înfășurării. Legăturile de întoarcere unesc semispire din stratul interior iar extremitățile înfășurării fazelor sînt legate la semispire din stratul exterior. Numerele de ordine ale semispirelor de pe liniile orizontale se determină prin adăugarea pasului y al bobinelor la numerele de ordine ale semispirelor precedente. Numerele de ordine ale primelor semispire, din înconjurările următoare în același sens, se obțin prin adăugarea pasului legăturii de trecere, la numerele de ordine ale ultimelor semispire din înconjururile precedente. La obținerea numerelor de ordine ale semispirelor trebuie să se țină seama că sensurile de parcurgere ale înconjururilor care formează cele două jumătăți de înfășurare ale unei faze, sînt respectiv opuse. Numărul de ordine al primei semispire din a doua jumătate a înfășurării fazei se obține prin adăugarea pasului legăturii de întoarcere, numărului de ordine al ultimei semispire din prima jumătate a înfășurării fazei.

Pentru înfășurarea din fig. 5.115, *b* care are următoarele date : $Z=36$, $2p=4$, $q=3$ cu legături de trecere încrucișate (lungite) între înconjururile succesive din primul sens și respectiv neîncrucișate (scurtate) între cele de sens opus ; corespunzător acestora legăturile de întoarcere au pasul mai mic cu două crestături decît pasul bobinelor) conexiunile se realizează conform tabelei 5.8.

În mod similar se poate indica într-o tabelă ordinea succesiunilor elementelor de înfășurare a oricărei înfășurări la care se cunosc datele caracteristice : Z, $2p$, q, y și pașii legăturilor de trecere și de întoarcere.

Tabela 5.8

Ordinea conexiunilor între elementele înfășurării reprezentată în fig. 5.115, b

Înfășurarea a—x

a — *1e* —*10i* —*19e* —*28i* — legătura de trecere cu pasul 10 crestături
— *2e* —*11i* —*20e* —*29i* — „ „ „ „ „ „ „
— *3e* —*12i* —*21e* —*30i* — legătura de întoarcere I—IV cu pasul 7 crestături
— *1i* —*28e* —*19i* —*10e* — legătura de trecere cu pasul 8 crestături
— *2i* —*29e* —*20i* —*11e* — „ „ „ „ „ „ „
— *3i* —*30e* —*21i* —*12e* — *x*

Înfășurarea b—y

b —*25e* —*34i* — *7e* —*16i* — legătura de trecere cu pasul 10 crestături
—*26e* —*35i* — *8e* —*17i* — „ „ „ „ „ „ „
—*27e* —*36i* — *9e* —*18i* — legătura de întoarcere II—V cu pasul 7 crestături
—*25i* —*16e* — *7i* —*34e* — legătura de trecere cu pasul 8 crestături
—*26i* —*17e* — *8i* —*35e* — „ „ „ „ „ „ „
—*27i* —*18e* — *9i* —*36e* — *y*

Înfășurarea c—z

c —*13e* —*22i* —*31e* —*41i* — legătura de trecere cu pasul 10 crestături
—*14e* —*23i* —*32e* —*51i* — „ „ „ „ „ „ „
—*15e* —*24i* —*33e* — *6i* — legătura de întoarcere III—VI cu pasul 7 crestături
—*13i* — *4e* —*31i* —*22e* — legătura de trecere cu pasul 8 crestături
—*14i* — *5e* —*32i* —*23e* — „ „ „ „ „ „ „
—*15i* — *6e* —*33i* —*24e* — *z*

În tabela 5.9 sînt date formule pentru determinarea numerelor crestăturilor din care trebuie scoase începuturile și sfîrșiturile înfășurărilor de fază precum și legăturile de întoarcere la cele trei tipuri de scheme, după care se execută înfășurările ondulate ale rotoarelor cu inele de contact.

Tabela 5.9

Formule pentru determinarea numerelor crestăturilor din care trebuie scoase începuturile, sfîrșiturile și legăturile de întoarcere la înfășurările ondulate cu legături de întoarcere ale rotoarelor avînd q întreg, p diferit

de multiplu de 3 și $y = \frac{Z}{2p}$ crestături

Înfășurările fazelor	Notații folosite în schemele desfășurate	Straturile	Legături de trecere		
			Scurtate (neîncrucișate) pentru parcursurile înfășurării în ambele sensuri	Lungite (încrucișate) pentru parcursurile înfășurării în primul sens și scurtate pentru al doilea sens	Lungite (încrucișate) pentru parcursurile înfășurării în ambele sensuri
$a-x$	a	exterior	1	1	1
	I	interior	$Z+2-4q$	$Z-2q$	$Z-2q$
	IV	interior	$Z+2-q$	1	q
	x	exterior	$1+3q$	$4q$	$1+3q$
$b-y$	b	exterior	$1+\frac{2Z}{3}$	$1+\frac{2Z}{3}$	$1+\frac{2Z}{3}$
	II	interior	$Z+2-4q+\frac{2Z}{3}$	$Z-2q+\frac{2Z}{3}$	$Z-2q+\frac{2Z}{3}$
	V	interior	$Z+2-q+\frac{2Z}{3}$	$1+\frac{2Z}{3}$	$q+\frac{2Z}{3}$
	y	exterior	$1+3q+\frac{2Z}{3}$	Z	$1+3q+\frac{2Z}{3}$
$c-z$	c	exterior	$1+\frac{Z}{3}$	$1+\frac{Z}{3}$	$1+\frac{Z}{3}$
	III	interior	$Z+2-4q+\frac{Z}{3}$	$Z-2q+\frac{Z}{3}$	$Z-2q+\frac{Z}{3}$
	VI	interior	$Z+2-q+\frac{Z}{3}$	$1+\frac{Z}{3}$	$q+\frac{Z}{3}$
	z	exterior	$1+3q+\frac{Z}{3}$	$\frac{2Z}{3}$	$1+3q+\frac{Z}{3}$

5.3.4. Schemele frontale ale înfășurărilor ondulate, cu legături de întoarcere

Înfășurările ondulate din semispire ale rotoarelor se pot reprezenta simplificat și sub forma de scheme frontale. Ele indică toate conexiunile ce trebuie făcute între capetele de legătură ale semispirelor dinspre inelele de contact.

Pentru executarea schemei frontale se procedează astfel :

1. Se trasează convenabil trei cercuri concentrice cu diametrele $D_1 > D_2 > D_3$ ale căror circumferințe se împart respectiv după aceleași raze în Z părți egale, Z fiind numărul de crestături ale rotorului ;

2. Din punctele de intersecție ale razelor cu cercul exterior, luate ca centre se trasează Z cercuri de diametru d și se numerotează capetele de legătură ale semispirelor din stratul exterior, în ordine de la 1 la Z, în sensul succesiunii fazelor ;

3. Cu ajutorul formulelor din tabela 5.9 se determină numerele crestăturilor din care trebuie scoase capetele de legătură ale înfășurării fazelor (începuturile și sfîrșiturile) și legăturile de întoarcere, considerînd că începutul a al înfășurării primei faze este scos din crestătura *1* ;

4. Începuturile și sfîrșiturile înfășurărilor de fază se leagă la semispirele din stratul exterior avînd numerele calculate la punctul 3 din tabela 5.9. Legăturile se duc radial spre centrul schemei ; sfîrșiturile x, y și z se leagă la un cerc reprezentînd conexiunea în stea a înfășurării, iar începuturile a, b și c urmînd a fi legate la inelele de contact ;

5. Pe cercul de diametru D_2 se trasează $(Z—6)$ cercuri de diametru d, avînd ca centre punctele de intersecție ale razelor cu cercul ; nu se trasează cercuri sub capetele de legătură ale semispirelor din stratul exterior de la care sînt legate începuturile și sfîrșiturile înfășurării (a, b, c, x, y, z) ;

6. Se stabilesc numerele de ordine ale capetelor de legătură ale semispirelor, de pe cercul D_2 precum și poziția relativă a acestora față de capetele de legătură, ale semispirelor, de pe cercul D_1. Pentru aceasta este esențial să se stabilească cu precizie numărul de ordine și poziția relativă a capătului de legătură pentru o singură semispiră din stratul interior, restul semispirelor se numerotează în ordine. Spre exemplu, prima semispiră a înfășurării unei faze se leagă prin mufă, în partea opusă inelelor de contact, de semispira din stratul interior care este decalată față de prima cu y crestături. Capetele de legătură ale acestor două semispire, în partea opusă inelelor de contact, trebuie dispuse după aceeași rază. A doua semispiră a înfășurării fazei se leagă prin mufă, în partea inelelor de contact, de semispira a treia, care este decalată relativ cu y crestături față de a doua și cu $2y$ crestături față de prima (dacă înfășurarea este constituită din bobine cu pasul diametral). Capetele de legătură, în partea inelelor de contact, ale semispirelor doi și trei din înfășurarea fazei, trebuie dispuse după aceeași rază. În cazul schemei din fig. 5.114 avînd primele semispire ale înfășurării fazei notate respectiv cu *1*

pentru a—x, cu *17* pentru b—y și cu *9* pentru c—z, rezultă schema frontală din fig. 5.119.

Înfășurarea fiind constituită din bobine cu pasul diametral $y=\frac{Z}{2p}=\frac{24}{4}=6$ crestături, următoarele semispire pe faze vor fi notate cu $1+6=7$ pentru a—x, $17+6=23$ pentru b—y și $9+6=15$ pentru c—z.

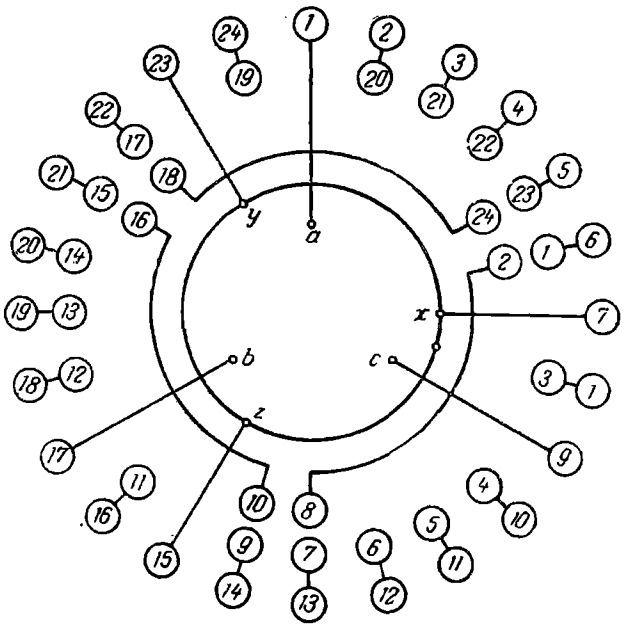


Fig. 5.119. Schema frontală a înfășurării din fig. 5.114.

iar semispira următoare din înfășurarea a—x va fi notată cu $7+6=13$. Capetele de legătură ale semispirelor *7* și *13*, înspre inelele de contact, se dispun după aceeași rază, spre a se lega împreună. S-a stabilit astfel că numărul de ordine al capătului de legătură al semispirei din crestătura *7* trebuie dispus sub capătul de legătură al semispirei din crestătura *13*.

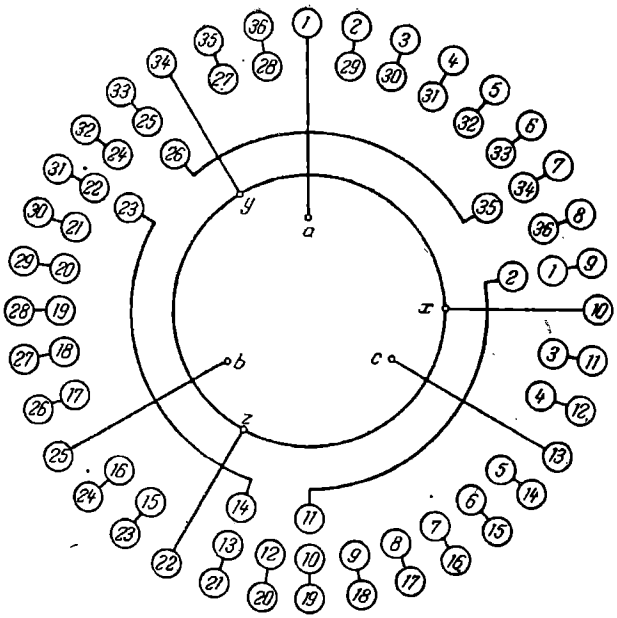
Celelalte capete de legătură ale semispirelor din stratul interior se numerotează în ordine în sensul succesiunii fazelor, cu observația că semispirele legăturilor de întoarcere calculate la punctul 3, se dispun pe cercul de diametru D_3 și au numere de ordine superioare cu o unitate față de numărul corespunzător capătului de legătură al semispirei de pe cercul D_2 sub care se află.

Numerotarea capetelor de legătură ale semispirelor de pe circumferința de diametru D_2 și poziția relativă a acestora față de capetele de legătură de pe cercul de diametru D_1 se păstrează aceeași dacă se stabilește corect numărul de ordine și poziția relativă a unui singur capăt de legătură de pe cercul de diametrul D_2. Spre exemplu, în fig. 5.114, a doua semispiră din înfășurarea $c—z$ se află în crestătura *15* în stratul interior (are deci numărul 15), iar capătul de legătură de partea inelelor de contact, trebuie legat cu semispira *21* din stratul exterior ; între cele două semispire fiind $\frac{Z}{2p}=\frac{24}{4}=6$ crestături (legătură între bobine succesive din același înconjur) în partea inelelor de contact capetele de legătură ale semispirelor *15* interior și *21* exterior trebuie dispuse pe aceeași rază iar numerotarea pentru restul semispirelor se face în ordine în sensul succesiunii fazelor avînd ca origine *15* interior. Procedînd analog pentru înfășurarea $b—y$, capetele de legătură *23* interior și *5* exterior trebuie dispuse pe aceeași rază iar numerotarea se face pentru celelalte semispire din stratul interior avînd ca origine *23* interior. În toate cazurile se obține evident aceeași numerotare și aceeași poziție relativă a capetelor de legătură ale semispirelor în partea inelelor de contact ;

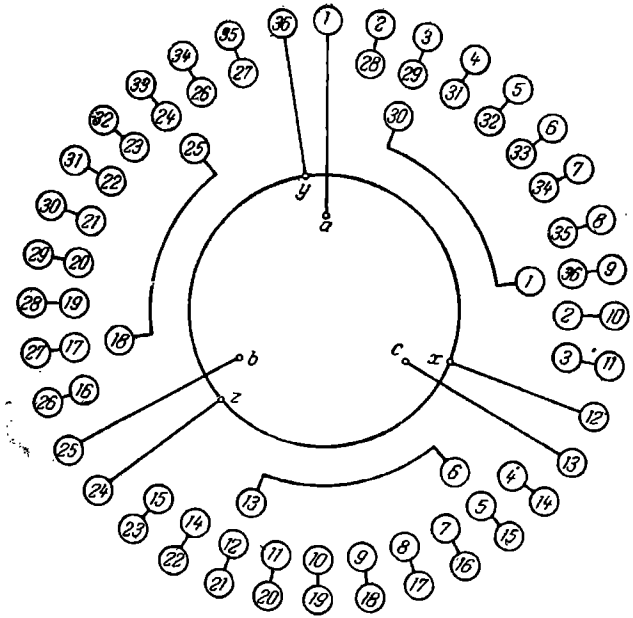
7. Capetele de legătură dispuse suprapus pe aceeași rază, aparținînd la semispire așezate în crestături în straturi diferite, se unesc prin mufe și lipire realizîndu-se astfel toate legăturile înfășurării în partea inelelor de contact. Mufele înspre inelele de contact unesc bobine din același înconjur dacă numerele de ordine ale capetelor de legătură ale semispirelor pe care le leagă, diferă cu $\frac{Z}{2p}$ crestături. Pentru diferențe mai mari sau mai mici decît $\frac{Z}{2p}$ crestături, legăturile sînt de trecere, respectiv încrucișate sau neîncrucișate, de la un înconjur la altul în același sens ;

8. De partea opusă inelelor de contact se leagă împreună capătul de legătură al primei semispire din înfășurarea fazei cu capătul de legătură al semispirei decalate cu y crestături $\left(\text{în cazul înfășurării constituită din bobine cu pasul diametral } y=\frac{Z}{2p} \text{ crestături}\right)$. Celelalte capete de legătură două cîte două, se unesc prin mufe în ordinea dispunerii lor în partea frontală.

În fig. 5.120, *a*, *b* și *c*, sînt reprezentate schemele frontale ale înfășurărilor corespunzătoare înfășurărilor reprezentate desfășurat în fig. 5.115, *a*, *b* și *c*.



a



b

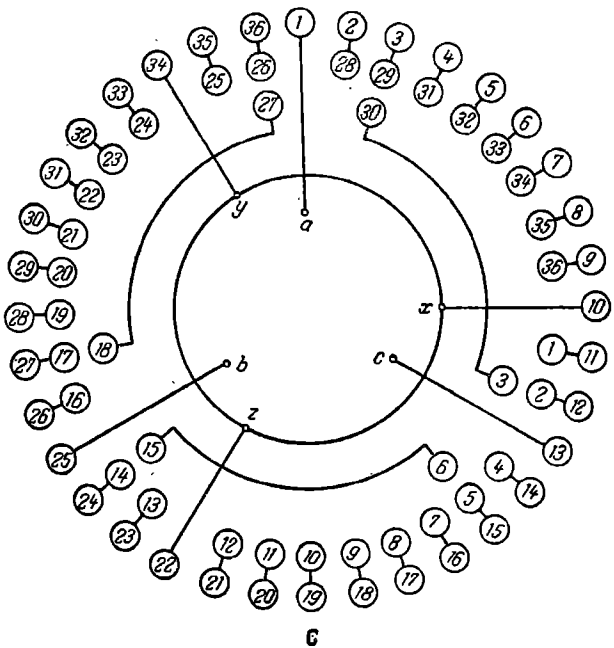


Fig. 5.120. Schema frontală a înfășurării din fig. 5.115, *a*, *b*, *c*.

5.4.1. Generalități. Domeniul de utilizare

Înfășurările în colivie se execută din conductoarele așezate în crestăturile prevăzute în tolele miezurilor feromagnetice, iar capetele barelor sînt legate între ele astfel încît întreaga înfășurare este complet scurtcircuitată. Înfășurările în colivie se întîlnesc în construcția mașinilor sincrone și asincrone. Ele se folosesc la rotoarele motoarelor asincrone (denumite și motoare cu rotorul în colivie, pentru a le deosebi de motoarele cu inele de contact, care au pe rotor o înfășurare executată cu conductor izolat).

Ele se mai întîlnesc, de asemenea, la piesele polare ale mașinilor sincrone de puteri mijlocii și mari, cu poli aparenți ; în acest caz înfășurarea se numește înfășurare de amortizare ; ea servește la menținerea în sincronism a mașinilor sincrone în cazul variațiilor mari ale sarcinii și, uneori, și pentru pornirea acestor motoare. În construcția mașinilor sincrone mari se întîlnesc înfășurări similare cu cea de amortizare, dar dimensionate special pentru pornirea mașinii. Aceste înfășurări poartă numele de înfășurări de pornire.

5.4.2. Înfășurări în colivie ale motoarelor asincrone

În construcția motoarelor asincrone, înfășurările în colivie se întîlnesc foarte des, motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit fiind preferat pentru multe domenii de exploatare. De asemenea, motoarele asincrone trifazate de uz general de puteri mici (pînă la 10 kW) se construiesc aproape în exclusivitate cu rotorul în colivie.

Așa cum se arată în fig. 5.121, înfășurările în colivie cu care se echipează rotoarele motoarelor asincrone constau din următoarele elemente componente : conductoarele *1*, neizolate, așezate în crestături de asemenea neizolate, și inelele de scurtcircuitare *2*, care leagă între ele conductoarele înfășurării.

Pe suprafețele frontale exterioare ale inelelor de scurtcircuitare de la marea majoritate a rotoarelor în colivie ale motoarelor asincrone sînt așezate paletele *3*, formînd astfel două ventilatoare centrifugale care servesc la răcirea motorului.

Coliviile se execută din cupru sau din aluminiu. Motoarele asincrone de puteri pînă la circa 100 kW au colivia rotorică turnată din

aluminiu. Pentru puteri mai mari decît 100 kW, sau în cazul în care se cer caracteristici funcţionale speciale, motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit sînt echipate cu colivii executate din cupru, legătura dintre bare şi inelele de scurtcircuitare fiind făcută prin sudură. Turnarea aluminiului pentru coliviile acestor motoare este evitată datorită dimensiunilor mari ale rotorului şi dificultăţilor tehnologice pentru realizarea coliviei şi inelelor de scurtcircuitare. În sfîrşit, în

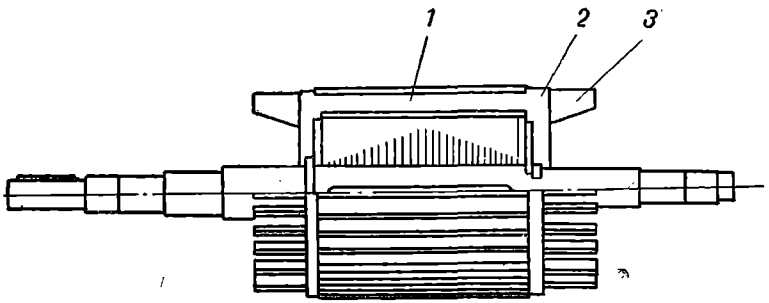


Fig. 5.121. Rotorul unui motor asincron în colivie.

construcţia motoarelor asincrone mici se întîlnesc colivii executate din bare de alamă, inelele de scurtcircuitare fiind realizate din alamă sau cupru.

Întrucît în timpul funcţionării motoarelor barele sînt supuse la eforturile mecanice datorite forţei centrifuge şi datorită regimului de funcţionare (schimbarea sensului de rotaţie, variaţia bruscă a sarcinii, pornirea motoarelor etc.), la coliviile executate din bare de cupru este necesară asigurarea consolidării barelor în crestături, prin alegerea corespunzătoare a jocului dintre conductor şi crestătură. La coliviile turnate din aluminiu nu se pune această problemă, conductoarele acestora fiind bine consolidate, datorită turnării pe miezul feromagnetic al rotorului.

a. *Tipuri constructive de colivii*

În construcţia motoarelor asincrone se folosesc diferite tipuri de colivii rotorice, alese în funcţie de puterea motorului, de caracteristicile de pornire (cuplul de pornire şi curentul de pornire), precum şi de caracteristicile de funcţionare în sarcină (momentul maxim, alunecare). Din punct de vedere constructiv, tipul coliviei este determinat de forma crestăturii miezului magnetic, barele coliviei avînd în

general forma crestăturii în care sînt așezate. În fig. 5.122 sînt reprezentate tipurile de crestături folosite în construcția motoarelor asincrone cu caracteristici de pornire și de funcționare de uz general.

Crestăturile din fig. 5.122, *a* și *b* se întîlnesc de obicei la motoarele mici, iar crestăturile din fig. 5.122, c se întîlnesc la motoarele de puteri pînă la 100 kW. Dimensiunile conductorului fiind în limite

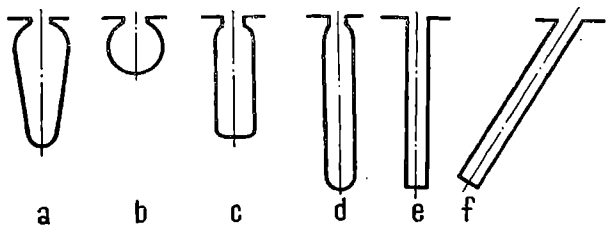


Fig. 5.122. Tipuri de crestături rotorice, folosite în construcția motoarelor asincronice normale.

normale (raportul dintre înălțimea și lățimea secțiunii este cuprins între 2,5 și 5), coliviile realizate cu acest tip de conductor se numesc *colivii normale*.

În cadrul motoarelor de uz general se folosesc și crestăturile din fig. 5.122, *d, e* și *f*, cu ajutorul cărora se obțin regimuri de lucru mai avantajoase. Așa cum rezultă din dimensiunile crestăturii, conductoarele sînt înguste și înalte (raportul dintre înălțimea și lățimea conductorului este mai mare decît 4). Coliviile care se realizează cu acest tip de conductor se numesc *colivii cu bare înalte*. Ele se folosesc pentru obținerea unui cuplu mare la pornire și curent mai mic decît la coliviile normale.

În fig. 5.123 este reprezentată fotografia unui rotor cu bare înalte al unui motor asincron.

În construcția motoarelor asincrone de putere mare și a acelora cu caracteristici speciale de funcționare și de pornire se folosesc colivii ale căror conductoare sînt așezate în crestături de forme similare celor reprezentate în fig. 5.124. Asemenea colivii se numesc *colivii duble* ; ele sînt formate dintr-o colivie avînd conductoarele de secțiune redusă, iar a doua realizată cu conductoare de secțiune mare. Așa cum se arată la funcționarea coliviilor, datorită rolului preponderat pe care îl au în procesul de pornire, coliviile cu conductoare de secțiune mică așezate spre exteriorul miezului magnetic al rotorului se numesc colivii de pornire, în timp ce coliviile așezate la baza crestăturii se numesc colivii de sarcină.

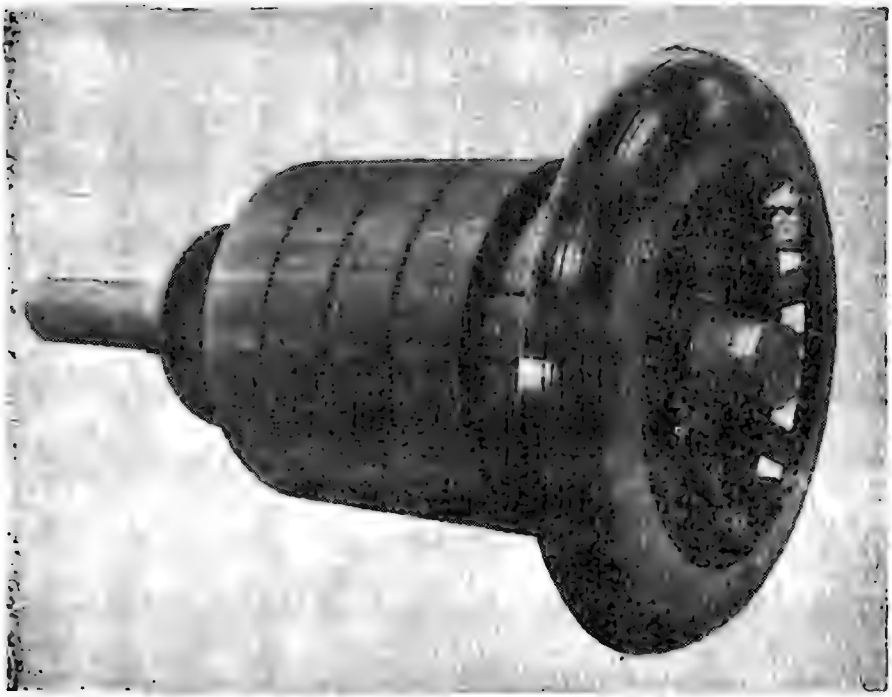


Fig. 5.123. Fotografia rotorului cu bare înalte al unui motor asincron.

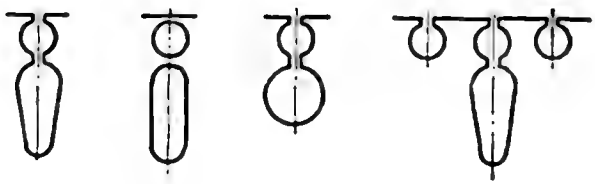


Fig. 5.124. Tipuri de crestături rotorice folosite în construcția motoarelor cu caracteristici speciale.

b. *Elementele înfășurării în colivie*

Aplicînd și în cazul coliviilor motoarelor asincrone metoda de reprezentare prin desfășurare, se obține reprezentarea din fig. 5.125.

Așa cum rezultă din această reprezentare, conductoarele active ocupă poziții diferite pe periferia miezului magnetic, fiecare conductor putînd fi considerat că face parte dintr-un circuit în care a doua latură o formează oricare din celelalte conductoare. Din cauza pozițiilor pe care barele coliviei le au pe periferia indusului, colivia formează o înfășurare polifazată, numărul fazelor fiind egal cu numărul barelor.

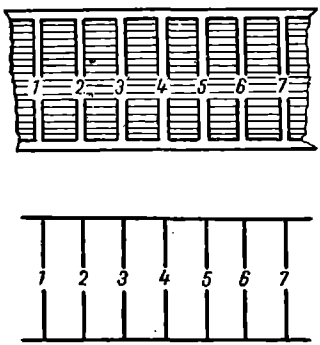


Fig. 5.125. Reprezentarea desfășurată a înfășurării în colivie.

Numărul de poli ai înfășurării coliviei este egal cu numărul de poli ai înfășurării statorice a motorului asincron.

Realizarea caracteristicilor de pornire și de funcționare ale motorului asincron (respectiv valoarea cuplului de pornire, a curentului de pornire și a cuplului maxim, la valorile prescrie pentru motoarele asincrone) este determinată de dimensiunile barelor și ale inelelor de scurtcircuitare.

Valorile mărimilor menționate anterior depind în special de rezistența electrică a coliviei. În regimul de pornire a motorului este necesar ca valoarea rezistenței să fie mare, pentru ca prin aceasta să se realizeze un cuplu mai mare și un curent absorbit de motor, din rețea, mai mic. La funcționarea în sarcină se impune ca rezistența coliviei să fie mai mică, pentru ca motorul să nu funcționeze cu o alunecare mare.

În cazul motoarelor de utilizare generală, cu caracteristici normale, cuplul și curentul de pornire nu impun măsuri speciale, coliviile normale fiind satisfăcătoare. Atunci cînd însă aceste mărimi sînt condiționate să aibă valorile între anumite limite, se impune utilizarea coliviilor cu bară înaltă sau a coliviilor multiple (colivia dublă).

În cazul coliviilor cu bare înalte, la pornire, cînd frecvența tensiunii electromotoare din înfășurarea rotorului este mare (egală cu frecvența tensiunii statorice), curenții sînt refulați spre întrefier în porțiunea superioară a conductorului. Acest fenomen are ca urmare o reducere practică a secțiunii prin care trec curenții în bară și deci o mărire aparentă a rezistenței înfășurării rotorului, îmbunătățind

astfel caracteristicile de pornire ale motorului (curent de pornire redus și cuplu de pornire mare). Rotorul cu mai multe colivii asigură caracteristici de pornire superioare celor corespunzătoare rotorului bobinat cu bare înalte, deoarece la pornire (cînd frecvența curenților din rotor este mare) coliviile interioare de secțiune mare contribuie mai puțin la formarea cuplului. Pentru a mări cuplul de pornire la motoarele cu dublă colivie, coliviile exterioare se execută din bare de secțiune redusă, materialul ales avînd o rezistivitate mare, iar cele interioare din bare de secțiune relativ mare și material conductor cu rezistivitate mică. Colivia exterioară (de pornire) este bine să aibă o reactanță cît mai mică ; pentru aceasta este recomandabil ca numărul crestăturilor rotorului să fie cît mai mare. Cîteodată, coliviile exterioare se execută din alamă sau din bronz, iar coliviile interioare se fac din cupru. De regulă, fiecare colivie poate avea inelele sale de scurtcircuitare. Se întîlnesc însă și motoare cu inel comun de scurtcircuitare a barelor, atît interioare cît și exterioare. Dimensiunile interstițiului dintre crestăturile celor două colivii au un rol hotărîtor asupra caracteristicilor de pornire și funcționare ale motoarelor cu dublă colivie.

5.4.3. Înfășurări de amortizare

Înfășurările de amortizare se folosesc la mașinile sincrone și se introduc în piesele polare ale rotoarelor cu poli aparenți. Prin construcția lor, înfășurările de amortizare sînt porțiuni dintr-o înfășurare obișnuită în colivie simplă.

Segmentele de scurtcircuitare a barelor ce compun înfășurările de amortizare și modul în care se consolidează acestea la mașinile sincrone care au turația sub 3 000 rot/min sînt reprezentate în fig. 5.126.

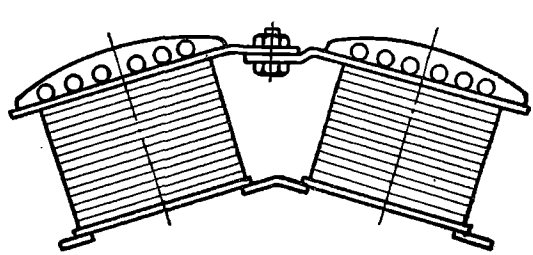


Fig. 5.126. Segmente de scurtcircuitare a barelor ce compun înfășurările de amortizare și modul lor de consolidare.

La rotoarele mașinilor sincrone care au turații de 3 000 rot/min (cazul turbogeneratoarelor), rolul înfășurării de amortizare îl joacă coliviile care le formează penele introduse în crestăturile rotorului și miezului feromagnetic masiv. De regulă, la turbogeneratoare, în fiecare crestătură a rotorului se introduc mai multe pene (4—5 bucăți, cap la cap). Obișnuit, pentru a se ușura introdu-

cerea acestora în crestătură, între înfășurarea rotorului și segmentele de pană propriu-zise se așază o platbandă din alamă pe toată lungimea crestăturii. În acest fel, porțiunile de pană alunecă mai ușor la introducere, nu deteriorează înfășurarea și sînt legate electric între ele prin platbanda respectivă. De obicei, penele din crestături sînt legate electric între ele frontal prin cîte o capotă cilindrică din material nemagnetic, care acoperă capetele frontale ale înfășurării rotorului și care au rolul de a nu lăsa aceste părți de înfășurare să se deformeze sub acțiunea forțelor centrifuge.

5.5. RECALCULAREA ÎNFĂȘURĂRILOR REPARTIZATE DE CURENT ALTERNATIV

5.5.1. Introducere și relații de calcul

De multe ori, în atelierele de bobinaj se pune problema rebobinării mașinilor electrice de curent alternativ. Rebobinarea se poate face fie pentru caracteristicile principale (tensiune, curent, viteză etc.) pe care le-a avut mașina *inițial,* fie pentru *alte date* de funcționare și anume pentru o altă tensiune la borne sau pentru altă turație decît cele pe care le-a avut mașina inițial.

Determinarea caracteristicilor înfășurării mașinii, pentru rebobinarea ei la aceleași date nominale, este simplă dacă mașina mai este echipată încă cu înfășurarea originală. La scoaterea înfășurării se identifică tipul de conductor și izolația din crestătură, dimensiunile și materialul conductorului, numărul de conductoare din crestătură, tipul de înfășurare, numărul de poli, numărul de căi de curent, pasul bobinelor și legăturile dintre bobine etc.

În cazul cînd mașina nu mai prezintă înfășurarea originală (cînd avem numai miezul feromagnetic al mașinii) și nu se cunosc nici datele nominale ale mașinii (în urma pierderii sau deteriorării plăcuței cu datele nominale) trebuie restabilite în prealabil, prin calcul, caracteristicile înfășurării.

Calculul înfășurării mai este necesar și în situația cînd se schimbă datele nominale ale mașinii sau se schimbă materialul din care este executat conductorul înfășurării (înlocuirea conductorului de cupru cu conductor de aluminiu).

Alegerea valorii maxime a *inducției magnetice* în întrefierul mașinii se face în funcție de puterea motoarelor asincrone, între limitele indicate în tabela 5.10.

Tabela 5.10

Inducțiile magnetice în întrefierul motoarelor asincrone

Puterea motorului kW	Inducția magnetică B_δ Gs
Pînă la 1	2 000—4 000
1—10	4 000—6 500
10—100	6 500—8 500

Numărul de spire pe fază se calculează din relația

$$w_1 = \frac{0{,}95\, U_1}{4{,}44 f_1 k_{w_1} \Phi}, \tag{5.54}$$

în care :

U_1 este tensiunea pe fază, în V ;
f_1 — frecvența tensiunii de alimentare, în Hz ;
k_{w_1} — factorul de înfășurare ;
Φ — fluxul pe pol, în Wb/m^2.

În tabela 5.11 sînt date valorile factorului de înfășurare la înfășurările cu q creștături pe pol și fază, pentru diferite valori ale raportului Y/τ (deschideri ale bobinelor raportate la pasul polar).

Calculul secțiunii conductorului. Cunoscînd valoarea curentului I_1 care parcurge înfășurarea unei faze în regimul nominal de funcționare (curentul este trecut pe plăcuțele cu datele nominale) și alegînd în prealabil valoarea J a densității de curent, se poate calcula secțiunea conductoarelor (cu cît conductorul este mai subțire, cu atît densitatea de curent se alege mai mare).

În tabela 5.12 sînt date valorile medii ale densităților de curent pentru înfășurările statorului.

Pentru înfășurările rotoarelor, densitățile admisibile de curent se aleg mai mari cu 1—1,5 A/mm^2 față de valorile indicate în tabela 5.7. Secțiunea conductorului de bobinaj a înfășurării de fază se calculează din relația

$$s = \frac{I_1}{J}, \tag{5.55}$$

în care I_1 se ia în amperi, J în amperi pe milimetru pătrat, iar s rezultă în milimetri pătrați.

Tabela 5.11

Factorul de înfășurare al fundamentalei, în funcție de numărul de crestături pe pol și fază q și de raportul Y/τ

$q=1$		$q=2$		$q=3$		$q=4$		$q=5$		$q=6$	
$\frac{Y}{\tau}$	k_w	$\frac{Y}{\tau}$	k_w	$\frac{Y}{\tau}$	k_w	$\frac{Y}{\tau}$	k_w	$\frac{Y}{\tau}$	k_w	$\frac{Y}{\tau}$	k_w
1	1	1	0,967	1	0,960	1	0,958	1	0,955	1	0,955
2/3	0,866	5/6	0,936	8/9	0,950	11/12	0,954	14/15	0,950	17/18	0,954
1/3	0,500	4/6	0,840	7/9	0,904	10/12	0,928	13/15	0,935	16/18	0,942
—	—	3/6	0,684	6/9	0,835	9/12	0,888	12/15	0,910	15/18	0,924
—	—	—	—	5/9	0,738	8/12	0,830	11/15	0,874	14/18	0,898
—	—	—	—	4/9	0,618	7/12	0,763	10/15	0,828	13/18	0,867
—	—	—	—	—	—	6/12	0,680	9/15	0,775	12/18	0,823
—	—	—	—	—	—	—	—	8/15	0,712	11/18	0,785
—	—	—	—	—	—	—	—	7/15	0,638	10/18	0,732

Tabela 5.12

Densitățile de curent pentru înfășurările statorului

Pentru mașini	Limitele puterilor kW	Valorile densității de curent A mm²	
		Pentru conductoare din cupru	Pentru conductoare din aluminiu
Închise neventilate	0,1—10	2—3	1,50—2,30
Închise suflate	0,1—100	3—4	2,30—3,00
Închise cu ventilator interior	0,1—100	4—6	3,00—4,50
Ventilate foarte puternic	0,1—100	6—8	4,50—6,10

Secțiunea conductorului se ia chiar egală cu s dacă înfășurarea nu are căi de curent în paralel și nici conductoare în paralel pe calea de curent. În asemenea cazuri, numărul real de conductoare de secțiune s, dintr-o crestătură, se calculează astfel

$$N_{1cr}=\frac{2w_1}{2pq} \quad \text{sau} \quad N_{1cr}=\frac{2w_1m_1}{Z_1}, \tag{5.56}$$

unde $2w_1$ este numărul de conductoare pe fază, iar $2pq=\frac{Z_1}{m_1}$ este numărul de crestături pe fază.

În cazul înfășurărilor cu a căi de curent în paralel pe fază și cu n_p conductoare în paralel pe calea de curent, numărul real de conductoare din crestătură este

$$N_{1cr_R}=n_p\frac{2w_1a}{2pq}; \tag{5.57}$$

secțiunea conductorului s este egală cu suma secțiunilor tuturor conductoarelor conectate în paralel pe fază, adică

$$s=an_ps_c; \tag{5.58 a}$$

secțiunea conductorului de bobinaj este

$$s_c=\frac{s}{an_p}. \tag{5.58 b}$$

Coeficientul de umplere. Se definesc mai mulți coeficienți de umplere. Coeficientul de umplere k_{u1} al crestăturii cu material activ denumit și factor de utilizare este definit astfel :

$$k_{u1}=\frac{s_cN_{1cr}}{s_{cr}}, \tag{5.59}$$

unde s_{cr} este suprafața crestăturii.

Coeficientul de umplere al *crestăturii propriu-zise* este

$$k_{u2}=\frac{N_{1cr}d_{iz}^2}{s'_{cr}}, \tag{5.60}$$

unde :

d_{iz} este diametrul conductorului izolat ;

s'_{cr} — secțiunea crestăturii (după izolare) disponibilă pentru înfășurare.

Coeficientul de umplere al crestăturii *cu izolație* este

$$k_{u3}=\frac{s_{iz}}{s'_{iz}}, \tag{5.61}$$

unde :

s_{iz} este secțiunea izolației crestăturii ;

s'_{iz} — secțiunea din crestătură necesară izolației crestăturii.

Valorile coeficienţilor de umplere k_{u1}, k_{u2} şi k_{u3} sînt date în tabela 5.13.

Tabela 5.13

Valorile coeficienţilor de umplere k_{u1}, k_{u2} şi k_{u3}, pentru înfăşurări cu bobine moi

Tipul crestăturii	Tipul înfăşurării	Limitele coeficienţilor de umplere a crestăturii		
		k_{u1}	k_{u2}	k_{u3}
Trapezoidală, cu mici rotunjiri la fundul crestăturii	Într-un singur strat	0,36—0,43	0,68—0,75	0,60—0,70
	În două straturi	0,33—0,40		
Ovală, cu fundul trasat după o circumferinţă	Într-un singur strat	0,40—0,48		
	În două straturi	0,36—0,43		

Aria secţiunii transversale a crestăturii. Pentru a verifica dacă înfăşurarea calculată poate fi dispusă în crestături se poate proceda fie la o încercare directă, fie pe cale grafică, fie la efectuarea unui calcul detaliat pe baza coeficienţilor de umplere.

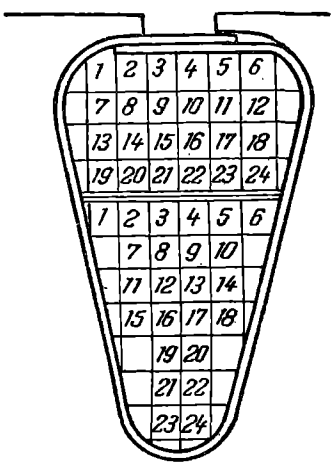


Fig. 5.127. Verificarea pe cale grafică a posibilităţii dispunerii conductoarelor laturilor de bobine în crestătură.

Încercarea directă se efectuează astfel : se izolează crestătura, se execută separat o latură de bobină (la înfăşurările într-un strat), respectiv două laturi de bobină (la înfăşurările în două straturi) şi se introduc în crestătură, verificîndu-se astfel dacă spaţiul disponibil din crestătură este suficient. Latura de bobină se execută cu acelaşi tip de conductor izolat cu care urmează să se execute înfăşurarea.

Pe cale grafică se procedează astfel : se desenează crestătura izolată la o scară mărită, pe baza cotelor măsurate. Se subîmparte suprafaţa crestăturii prin linii paralele, la distanţe egale cu dimensiunile la scară ale conductorului izolat ca în fig. 5.127, fie în dreptunghiuri în

oazul conductoarelor dreptunghiulare, fie în pătrate în cazul conductoarelor de secțiune pătrată sau circulară. Se numără apoi spațiile subdivizate întregi și se verifică dacă numărul lor este egal cu numărul de conductoare dintr-o crestătură. Raportul dintre aria spațiilor întregi și aria crestăturii izolate este denumit coeficientul de umplere al crestăturii și are valoarea cuprinsă între 0,7 (la mașinile mici) și 0,8 (la mașinile mari).

Pentru verificarea prin calcul a posibilității de dispunere a conductoarelor în crestătură, se calculează mai întîi aria secțiunii crestăturii; în fig. 5.128 sînt reprezentate principalele tipuri de crestături întîlnite în construcția mașinilor electrice, împreună cu relațiile de calcul al ariei crestăturii.

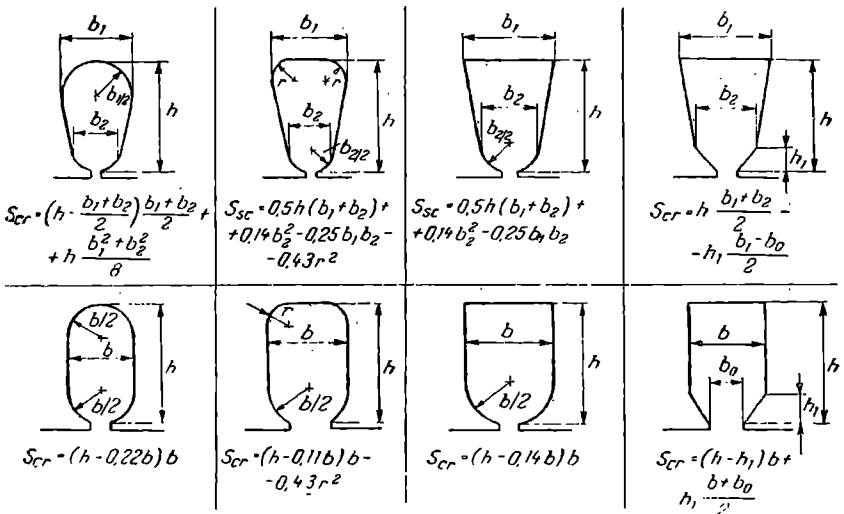


Fig. 5.128. Tipuri de crestături și relațiile de calculul ariei suprafeței crestăturilor.

Aria secțiunii conductoarelor din crestătură $s_{c\,iz} \cdot N_{1\,cr}$ trebuie să fie egală cu produsul dintre aria crestăturii și factorul de umplere

$$s_{c\,iz} N_{1\,cr} = k_{u1}\ S_{cr}.$$

Lungimea și cantitatea conductorului înfășurării. Pentru calculul rezistenței și cantității de conductor a înfășurării se determină lungimea conductorului din relația

$$l_c = m\,w\,l_w,$$

în care : m este numărul de faze ;
w — numărul de spire pe fază ;
l_w — lungimea spirei medii.

Lungimea spirei medii se calculează cu relația

$$l_w = 2(l_g + l_f),$$

în care : l_g este lungimea geometrică a miezului ;
l_f — lungimea frontală a conductorului dată de relația

$$l_f = \frac{(D \pm h)\, y}{Z\sqrt{1-\left|\frac{b+1{,}5\ldots 11{,}5}{t}\right|^2}} + (20\ldots 140) \quad [\text{mm}],$$

cu D — diametrul interior al statorului, în mm ;
h — înălțimea crestăturii, în mm ;
Z — numărul de crestături ;
y — pasul bobinei (în crestături) ;
b — lărgimea crestăturii, în mm ;
$t = \frac{\pi D}{Z}$ — pasul crestăturilor, în mm.

Semnul (+) împreună cu dimensiunile și mărimile de mai sus pentru stator se consideră la calculul lungimii frontale a conductorului din stator, iar semnul (—) împreună cu dimensiunile și mărimile de mai sus pentru rotor (cu excepția diametrului) se consideră la calculul lungimii frontale a conductorului din rotor.

Valorile mai mici din relația pentru l_f corespund mașinilor de tensiune joasă, iar valorile mari la mașinile de tensiuni ridicate.

Masa conductorului rezultă din relația

$$M_c = \frac{1}{1\,000}\gamma\, l_c\, s_c \quad [\text{kg}],$$

în care lungimea conductorului l_c se consideră în m, secțiunea conductorului în mm^2 iar densitatea conductorului în kg/dm^3 ; la cupru $\gamma_{Cu} = 8{,}9$ kg/dm^3, iar la aluminiu $\gamma_{Al} = 2{,}7$ kg/dm^3.

5.5.2. Exemplu de recalculare a unei înfășurări de curent alternativ

Să presupunem că la un motor asincron trifazat se cunosc următoarele date nominale (de pe plăcuță) :

$P = 36$ kW, $U = 500$ V, $I = 57{,}20$ A, $n = 950$ rot/min, $\cos\varphi = 0{,}828$,

iar înfășurarea statorului este conectată în stea.

Statorul are $Z_1 = 72$ crestături, iar numărul de crestături pe pol și fază în stator este $q = 4$. Lungimea pachetului din stator, fără canale de ventilație, este egală cu 180 mm. Dimensiunile pachetului și ale crestăturilor sînt indicate în fig. 5.129. Se cere să se calculeze înfășurarea indusului.

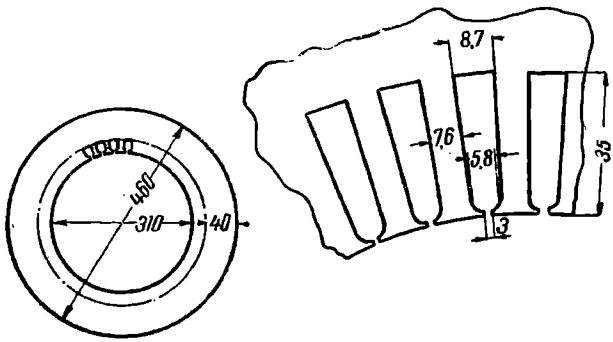


Fig. 5.129. Schița tolei statorului.

Numărul de poli ai mașinii se calculează cu relația

$$p = \frac{60\,f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{1\,000} = 3;$$

la turația nominală $n = 950$ rot/min, turația sincronă este $n_1 = 1\,000$ rot/min.

Pasul polar se calculează cu ajutorul relației

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{3{,}14 \cdot 31}{2 \cdot 3} = 16{,}20 \text{ cm} = 0{,}162 \text{ m}.$$

Se alege valoarea maximă a inducției în întrefier :

$$B_\delta = 7\,800 \text{ Gs} = 0{,}78 \text{ Wb/m}^2.$$

Fluxul pe pol este

$$\Phi = \frac{2}{\pi} B_\delta \tau l_i = \frac{2}{3{,}14} \cdot 0{,}78 \cdot 0{,}16 \cdot 0{,}18 = 0{,}0143 \text{ Wb}.$$

Pasul polar, exprimat în număr de crestături, este :

$$y = \frac{Z_1}{2p} = \frac{72}{2 \cdot 3} = 12 \text{ crestături}.$$

Alegem o înfășurare în două straturi cu pas scurtat $y=10$ (adică 1 la 11); se realizează astfel o scurtare de $\frac{12-10}{12}\cdot 100=16{,}66\%$.

Factorul de înfășurare, conform tabelei 5.4 este $k_w=0{,}958\cdot 0{,}966$. Numărul de spire pe fază este

$$w_1=\frac{0{,}958\,U_1}{4{,}44\,fk_w\Phi}=\frac{0{,}958\frac{500}{3}}{4{,}44\cdot 50\cdot 0{,}958\cdot 0{,}966\cdot 0{,}01447}=93{,}2.$$

Numărul de conductoare într-o crestătură, în ipoteza că înfășurarea se execută cu o cale de curent pe fază și cu un singur conductor pe calea de curent, este

$$N_{1cr}=\frac{2w_1}{2pq}=\frac{2\cdot 93{,}2}{2\cdot 3\cdot 4}=7{,}76 \text{ conductoare.}$$

Secțiunea conductorului de bobinaj rezultă

$$s=\frac{I_1}{J}=\frac{57{,}2}{2}=11{,}44 \text{ mm}^2,$$

unde $J=5$ A/mm^2 s-a ales din tabela 5.12.

Diametrul conductorului, corespunzător acestei secțiuni, este $d=3{,}81$ mm.

Întrucît conductorul cu diametrul de 3,81 mm nu se poate introduce radial în crestătură, se recurge la o înfășurare cu $a=3$ căi de curent în paralel, fiecare cale fiind realizată cu $n_p=2$ conductoare în paralel. Secțiunea unui singur conductor este $s_c=1{,}9$ mm^2, iar diametrul standardizat al conductorului $d=1{,}55$ mm, respectiv $d_{iz}=1{,}81$ mm (izolat de două ori cu bumbac). Astfel, numărul conductoarelor într-o crestătură este

$$N_{1crR}=n_p\frac{2w_1}{2pq}=2\frac{2\cdot 93{,}2\cdot 3}{2\cdot 3\cdot 2}=46{,}6 \text{ conductoare.}$$

Vom lua pe crestătură $N_{1cr}=48$ conductoare, pentru ca bobinele componente să aibă cîte 12 spire cu cîte două conductoare în paralel, adică 24 conductoare. Bobinajul fiind executat în două straturi, în crestătură vor fi două laturi de bobine, adică 48 conductoare.

Prin rotunjirea numărului de conductoare pe crestătură de la 46,6 la 48, numărul de spire pe fază, respectiv pe calea de curent, devine $w_1=96$ spire.

Pentru verificarea rezultatelor obținute se calculează :

— coeficienții de umplere, cu relațiile 5.59, 5.60, 5.61 ; de exemplu, factorul

$$k_{u1} = \frac{s_c N_{1cr}}{s_{cr}} = \frac{1{,}887 \cdot 48}{252{,}70} = 0{,}352,$$

unde s_{cr} este secțiunea crestăturii.

Valoarea coeficientului de umplere k_{u1} se încadrează între limitele indicate în tabela 5.13.

— Valoarea inducției în secțiunea medie a dinților,

$$B_{d1} = 1{,}57 \frac{\Phi}{0{,}93\, s_d} = 1{,}57 \frac{0{,}01447}{0{,}93 \cdot 0{,}0164} = 1{,}4860 \text{ Wb/m}^2 = 14\,860 \text{ Gs},$$

unde s_d este secțiunea dinților de pe un pas de crestătură, calculată astfel :

$$s_d = \frac{Z_1}{2p} b_{d\,med}\, l = \frac{72}{2 \cdot 3} 0{,}76 \cdot 1{,}8 = 164 \text{ cm}^2 ;$$

coeficientul 0,93 din relația care dă pe B_{d1} este coeficientul de umplere care ține seama de faptul că tolele miezului magnetic sînt izolate între ele cu lac.

— Valoarea inducției în jugul statorului este

$$B_j = \frac{0{,}5\, \Phi}{0{,}93\, s_{js}} = \frac{0{,}5 \cdot 0{,}01447}{0{,}93 \cdot 0{,}0072} = 1{,}0790 \text{ Wb/m}^2 = 10\,790 \text{ Gs},$$

unde s_j este secțiunea jugului :

$$s_j = h_j l = 4 \cdot 18 = 72 \text{ cm}^2 \text{ (v. fig. 5.129).}$$

Valorile obținute pentru inducțiile B_d și B_j sînt acceptabile în mașinile electrice.

5.5.3. Recalcularea înfășurărilor de curent alternativ la alte caracteristici de funcționare ale mașinii

a. *Recalcularea înfășurării pentru o altă tensiune, celelalte caracteristici rămînînd constante. Exemplu de calcul*

Se dă un motor asincron trifazat cu rotorul în colivie, avînd în stator $Z_1 = 36$ crestături. Înfășurarea tetrapolară ($2p = 4$), la tensiunea de 220/127 V avînd conexiune Y/Δ, este executată într-un singur

strat în două etaje și este compusă din 6 grupe de bobine, cu cîte 2 grupe pe fiecare fază. Fiecare grupă de bobine are trei bobine. Bobinele au cîte din 24 spire din conductor de cupru izolat BB și avînd $d_{iz}=1{,}3$ mm (secțiunea $s=1{,}327$ mm^2). Numărul de sprire pe fază este

$$w_1=\frac{N_{1cr}\cdot 2pq}{2}=\frac{24\cdot 2\cdot 2\cdot 3}{2}=144 \text{ spire.}$$

Se cere să se rebobineze înfășurarea pentru tensiunea de 380/220 V, conexiunea fiind stea-triunghi, păstrîndu-se puterea motorului și turația lui.

Din condiția de a avea aceleași solicitări magnetice se poate scrie :

$$w_{1\ nou}=w_{1\ vechi}\cdot\frac{U_{1\ nou}}{U_{1\ vechi}}=144\cdot\frac{220}{127}=249{,}50,$$

iar secțiunea conductorului noii înfășurări

$$s_{nou}=1{,}327\cdot\frac{127}{220}=0{,}767 \text{ mm}^2.$$

Secțiunea cea mai apropiată standardizată este 0,7854 mm^2, la care corespunde diametrul $d=1$ mm. La numărul de 249,5 spire pe fază, rezultat din calcul, corespunde un număr de conductoare în crestătură de

$$N_{1cr}=n_p\frac{2w_1}{2pq}=1\cdot\frac{2\cdot 249{,}5}{2\cdot 2\cdot 3}=41{,}58 \text{ conductoare.}$$

Alegem în crestătură 42 conductoare și deci numărul de spire pe fază w_1 devine egal cu 252 spire. Cu noile date, înfășurarea se execută în același fel, adică într-un strat și în două etaje.

b. *Recalcularea înfășurării pentru un număr de poli mai mic decît cel inițial*

Să presupunem că la un motor cu 4 poli trebuie transformată înfășurarea pentru 2 poli (adică motorul avea înainte turația sincronă $n_1=1\,500$ rot/min și trebuie bobinat pentru turația $n_1=3\,000$ rot/min).

În fig. 5.130 este arătat circuitul magnetic al aceluiași motor asincron pentru patru poli (*a*) și pentru doi poli (*b*).

În cazul motorului cu patru poli, pasul polar este egal cu

$$\tau_{(2p=4)}=\frac{\pi D}{2p}=\frac{\pi D}{4}.$$

Fluxul $\Phi_{(2p=4)}$ pe pol va străbate întrefierul mașinii trecînd prin dinții statorului $Z_{1\tau\,(2p=4)}$ cuprinși într-un pas polar τ :

$$Z_{1\tau\,(2p=4)}=\frac{Z_1}{2p}=\frac{Z_1}{4}.$$

Dacă la acest motor se transformă înfășurarea pentru $2p=2$ adică pentru 3 000 rot/min, atunci pasul polar este

$$\tau_{(2p=2)}=\frac{\pi D}{2p}=\frac{\pi D}{2}.$$

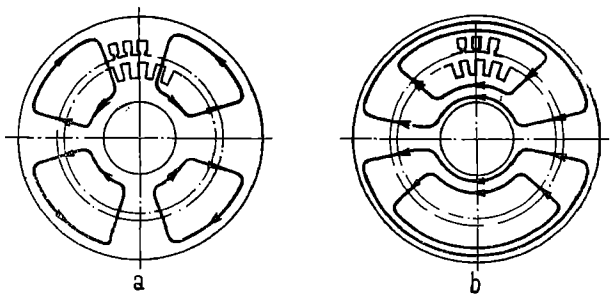


Fig. 5.130. Liniile cîmpului magnetic la o mașină :
a — tetrapolară ($p=2$); *b* — bipolară ($p=1$).

adică dublul pasului polar de la mașina tetrapolară și anume

$$\tau_{(2p=2)}=\frac{\pi D}{2}=2\,\frac{\pi D}{4}=2\tau_{(2p=4)}.$$

iar numărul de dinți ai statorului cuprinși într-un pas polar este

$$Z_{1\tau\,(2p=2)}=\frac{Z_1}{2p}=\frac{Z_1}{2}.$$

Fluxul $\Phi_{(2p=2)}$ fiind dublul fluxului $\Phi_{(2p=4)}$, inducțiile magnetice în jugurile din stator și rotor la mașina avînd $2p=2$ ar rezulta de două ori mai mari decît cele corespunzătoare pentru cazul $2p=4$, și prin urmare porțiunile respective din circuitul magnetic ar fi puternic solicitate în cazul $2p=2$. Pentru a avea aceleași solicitări magnetice în juguri în ambele cazuri, pentru $2p=2$ reducem valoarea maximă a inducției în întrefier la jumătate față de valoarea corespunzătoare cazului $2p=4$. Prin aceasta, fluxurile devin egale :

$$\Phi_{(2p=4)}=\Phi_{(2p=2)},$$

iar dinții motorului vor fi solicitați din punct de vedere magnetic pe jumătate pentru $2p=2$, în comparație cu cazul $2p=4$.

În ambele cazuri, puterea motorului rămîne aceeași ; astfel, cu notațiile utilizate anterior pentru primul caz ($2p=4$),

$$P_{(2p=4)} = 1{,}161\, AB_{\delta\,(2p=4)}\, D^2 l n_{1\,(2p=4)}\, k_w \cdot 10^{-12}\ \text{kVA},$$

iar pentru cazul al doilea ($2p=2$),

$$P_{(2p=2)} = 1{,}161\, AB_{\delta\,(2p=2)}\, D^2 l n_{1\,(2p=2)}\, k_w \cdot 10^{-12}\ \text{kVA};$$

deci,

$$P_{(2p=4)} = P_{(2p=2)},$$

deoarece

$$B_{\delta\,(2p=4)} = 2B_{\delta\,(2p=2)}$$

și

$$n_{1\,(2p=4)} = \frac{1}{2}\, n_{1\,(2p=2)};$$

celelalte mărimi care intervin în expresia puterilor rămîn aceleași atît pentru $2p=4$ poli, cît și pentru $2p=2$ poli. Aceste mărimi au următoarea semnificație :

D este diametrul interior al pachetului de tole din stator, în cm ;

l — lungimea activă a pachetelor de tole (fără canalele de ventilație), în cm ;

A — pătura de curent (încărcarea liniară a circumferinței desfășurate) a statorului pe suprafața interioară, în A/cm ;

B_δ — inducția în întrefier (valoarea maximă), în Gs ;

n_1 — turația cîmpului magnetic învîrtitor al mașinii, în rot/min ;

k_w — factorul de înfășurare.

Dacă prin transformarea înfășurării motorului de la $2p=4$ la $2p=2$ poli s-ar mări și pătura de curent A, puterea pe care ar putea s-o dezvolte motorul în ultimul caz ar fi mai mare. Creșterea păturii de curent o dată cu creșterea vitezei de rotație este posibilă, deoarece și ventilația mașinii devine mai intensă în acest caz.

Indiferent dacă mărim sau păstrăm constantă pătura de curent la viteză mare, motorul va avea același număr de spire pe fază, atît la viteza mică cît și la viteza mare, dacă se păstrează aceeași tensiune de alimentare și aceeași schemă de conexiune. Într-adevăr, din relațiile

$$w_{1\,(2p=4)} = \frac{0{,}95\, U_1}{4{,}44\, f k_w \Phi_{(2p=4)}}$$

și

$$w_{1\,(2p=2)} = \frac{0{,}95\,U_1}{4{,}44\,f k_w \Phi_{(2p=2)}}$$

și ținînd seamă că

$$\Phi_{(2p=4)} = \Phi_{(2p=2)},$$

rezultă

$$w_{1\,(2p=4)} = w_{1\,(2p=2)}.$$

În concluzie se poate spune : transformarea înfășurării unui motor asincron de la o turație mică la una mare se realizează prin menținerea numărului de spire pe fază și a secțiunii conductorului de bobinaj, dacă conexiunea înfășurărilor și tensiunea de alimentare rămîn neschimbate în cele două cazuri ; deschiderea bobinelor componente în ultimul caz este dublă față de primul caz.

Exemplu de calcul. Se dă un motor asincron trifazat, cu rotorul în colivie avînd pe plăcuță următoarele date nominale :

$P_u = 18{,}4$ kW ; $U = 380/220$ V ; conexiunea Y/Δ ; $I = 34{,}30/59{,}4$ A ;

$n = 720$ rot/min ; $\cos\varphi = 0{,}816$.

Statorul are un număr de crestături $Z_1 = 48$. Înfășurarea din stator este executată într-un singur strat în două etaje, pe fiecare fază fiind legate în serie 4 grupe de bobine, compuse fiecare din cîte 2 bobine. Bobinele au 16 spire și sînt executate cu două conductoare de cupru în paralel ($n_p = 2$), avînd diametrul de 2,6 mm. Numărul de spire legate în serie pe fază este de 128.

Se pune problema transformării înfășurării motorului de la $2p = 8$ poli la $2p = 4$ poli, păstrîndu-se conexiunea și tensiunea de alimentare.

1. Dacă *noua înfășurare* se va executa *într-un singur strat* și în două etaje, atunci cele $p = 2$ grupe de bobine compuse din $q = 4$ bobine constituie înfășurarea unei faze. Numărul de spire pe fază se menține, deoarece fluxul pe pol în cele două cazuri este păstrat același pentru a nu suprasolicita din punct de vedere magnetic jugurile din statorul și din rotorul mașinii, în cazul numărului mic de poli (tensiunea de alimentare și conexiunea înfășurării în cele două cazuri se păstrează). Evident că numărul de conductoare pe crestătură $2 \times 16 = 32$ se menține, deoarece numărul de spire pe fază a rămas același (adică $w_1 = 128$), iar numărul de crestături pe fază

$$Z_m = \frac{Z_1}{m} = \frac{48}{3} = 16 \text{ crestături pe fază,}$$

este același în ambele cazuri.

Deci,

$$N_1 = n_p \frac{2w_1}{2pq} = 2\,\frac{2 \cdot 128}{2 \cdot 2 \cdot 4} = 32 \text{ conductoare.}$$

Bobinele componente vor avea fiecare cîte 16 spire (cu două conductoare în paralel) și același diametru $d = 2{,}6$ mm. Pasul noii înfășurări corespunde numărului $2p = 4$ poli. Puterea motorului se menține ; de asemenea, valorile inducțiilor în jugurile din stator și rotor vor fi corespunzător aceleași în cele două cazuri. Valoarea inducției în dinți va fi însă mai mică în cazul $2p = 4$ față de valoarea corespunzătoare cazului $2p = 8$.

2. În cazul cînd *înfășurarea* se va executa *în două straturi,* fiecare bobină va avea 8 spire a două conductoare în paralel ; pe latură vor fi 16 conductoare. În crestătură vor reveni două laturi de bobină, deci 32 conductoare. Se menține același conductor.

3. Dacă *înfășurarea* se execută *cu două căi de curent în paralel pe fază* și tipul de bobinaj va fi în două straturi, fiecare bobină va avea 16 spire a cîte un singur conductor.

c. *Recalcularea înfășurării pentru un număr de poli mai mare decît cel inițial*

Dacă inducția magnetică B_δ este aceeași înainte și după recalculare, valoarea fluxului polar scade în cazul creșterii numărului de poli, deoarece deschiderea pasului polar scade. Ca o consecință a acestui fapt, numărul de spire pe fază se va schimba în raport invers față de valoarea fluxului, dacă tensiunea de alimentare pe fază se păstrează aceeași. Creșterea numărului de spire pe fază necesită scăderea secțiunii conductoarelor. În consecință, putem spune că la transformarea înfășurării motoarelor asincrone de la un număr mai mic de poli la unul mai mare, dacă se păstrează conexiunea și tensiunea de alimentare a înfășurării, numărul spirelor legate în serie pe fază, secțiunea conductorului înfășurării fazei și puterea motorului se schimbă în felul următor :

$$w_{1p_1} = w_{1p_2} \frac{p_1}{p_2} = w_{1p_2} \frac{n_2}{n_1}; \qquad s_{cp_1} = s_{cp_2} \frac{p_1}{p_2} = s_{cp_2} \frac{n_2}{n_1};$$

$$P_1 = P_2 \frac{p_2}{p_1} = P_2 \frac{n_1}{n_2},$$

dacă p_1 este mai mare ca p_2.

La schimbarea înfășurării motoarelor asincrone pentru un număr mai mare de poli, viteza de rotație scade și corespunzător acestei scăderi, ventilația mașinii se înrăutățește, se micșorează utilizarea jugului și se micșorează și factorul de putere.

În cazul cînd se cere rebobinarea motorului pentru alt număr de poli, mai mare decît cel inițial, și pentru altă tensiune de alimentare, la aceeași conexiune (sau pentru schimbarea conexiunii la aceeași tensiune), atunci se calculează mai întîi $w_{1\,nou}$, s_{nou} și P_{nou} cu relațiile date anterior și numai după aceea se trece la aplicarea relațiilor stabilite în cazul schimbării tensiunii și menținerea aceleiași puteri (v. exemplul care urmează).

Exemplu de calcul. Un motor asincron trifazat cu rotorul în colivie are pe plăcuță următoarele date nominale :

$$P = 7 \text{ kW} ; \; U = 380/220 \text{ V} ; \text{ conexiunea } Y/\Delta ; \; I = 12{,}43/21{,}52 \text{ A} ;$$

$$n = 1\,470 \text{ rot/min} ; \; \eta = 86\% ; \; \cos\varphi = 0{,}856.$$

Statorul are $Z_1 = 36$ crestături, iar înfășurarea statorică este executată într-un singur strat în două etaje. Cele $p = 2$ grupe de bobine care compun înfășurarea unei faze sînt legate între ele în serie. Bobinele au fost executate cu trei conductoare din cupru în paralel ($n_p = 3$), avînd același diametru $d = 1{,}95$ mm. Secțiunea corespunzătoare este egală cu 2,98 mm^2. În crestătură se găsesc 45 conductoare ; fiecare bobină are 15 spire.

Se cere rebobinarea motorului pentru $2p = 6$ poli (1 000 rot/min), urmînd ca acesta să funcționeze cu aceeași tensiune la borne, păstrîndu-se conexiunea înfășurării.

Numărul vechi de spire al înfășurării unei faze este

$$w_{1p_1} = \frac{N_{1cr} 2pq}{2n_p} = \frac{45 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3}{2 \cdot 3} = 90 \text{ spire.}$$

Numărul de spire pe fază devine

$$w_{1p_2} = \frac{n_1}{n_2} w_{1p_2} = \frac{1\,500}{1\,000} 90 = 135 \text{ spire.}$$

Dacă înfășurarea se va executa fără căi de curent în paralel și fără conductoare în paralel pe calea de curent, numărul conductoarelor în crestătură devine

$$N_{1cr\,R} = n_p \frac{2w}{2pq} = 1 \cdot \frac{2 \cdot 135}{2 \cdot 3 \cdot 2} = 22{,}5.$$

Admitem două căi de curent în paralel pe fază ($a=2$) și folosim pe calea de curent un singur conductor. În acest fel nu va trebui să rotunjim numărul de conductoare și deci N_{1cr} devine

$$N_{1cr}=n_p\frac{2\cdot 2w}{2pq}=1\cdot\frac{2\cdot 135\cdot 2}{2\cdot 3\cdot 2}=45 \text{ conductoare.}$$

Secțiunea conductorului înfășurării fiind

$$s_{cp_2}=\frac{n_2}{n_1}s_{cp_1}=\frac{1\,000}{1\,500}(3\cdot 2{,}98)=5{,}96 \text{ mm}^2,$$

rezultă secțiunea conductorului 2,98 mm^2; se va folosi conductor de același diametru cu cel inițial.

Fiecare bobină va avea 45 spire cu un singur conductor avînd $d=1{,}95$ mm. Cele două grupe de bobine, care formează înfășurarea unei faze, vor fi legate în paralel, obținîndu-se astfel $a=2$ căi de curent.

5.5.4. Schimbarea înfășurărilor din cupru cu înfășurări din aluminiu

În atelierele de reparații se ivește deseori problema înlocuirii înfășurărilor din cupru prin înfășurări din aluminiu. Conductorul de aluminiu se utilizează îndeosebi la motoarele asincrone.

La schimbarea înfășurării din cupru prin înfășurarea din aluminiu, dimensiunile crestăturii limitează folosirea unor conductoare de secțiune mai mare decît secțiunea conductoarelor înlocuite (la același număr de conductoare pe crestătură). Datorită acestui fapt, înlocuirea înfășurărilor din cupru prin înfășurări din aluminiu aduc pentru mașină schimbări importante din punct de vedere electric. Aceste schimbări se datoresc faptului că rezistența înfășurărilor în cele două cazuri diferă (deoarece rezistivitatea aluminiului este mai mare decît a cuprului), iar densitatea de curent admisibilă pentru conductorul de aluminiu este mai mică decît pentru conductorul de cupru. Lungimea și secțiunea rămînînd aceleași,

$$l_{fCu}=l_{fAl} \quad \text{și} \quad s_{Cu}=s_{Al},$$

la număr de spire dat avem:

$$R_{Al}=\frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}}R_{Cu}=\frac{0{,}0283}{0{,}0175}R_{Cu}=1{,}63\,R_{Cu},$$

adică schimbarea înfășurării din cupru prin înfășurarea din aluminiu este însoțită de o creștere a rezistenței înfășurării de aproximativ 1,63 ori.

În înfășurarea de cupru se dezvoltă pe fază, în regim nominal de funcționare, pierderile $R_{Cu} \cdot I_1^2$, în care I_1 este curentul nominal al mașinii, trecut pe plăcuța cu date nominale. Deoarece încălzirea mașinii trebuie să rămînă aceeași în înfășurarea din aluminiu trebuie să se dezvolte aceleași pierderi; cum R_{Al}, este mai mare decît R_{Cu}, curentul I_2 prin înfășurarea din aluminiu trebuie să fie mai mic. Schimbînd deci înfășurările din cupru cu înfășurări din aluminiu, curentul prin înfășurare trebuie să fie

$$I_2 = 0{,}7875\, I_1,$$

adică valoarea noului curent nominal va fi mai mică cu 21,25% decît cea inițială; din această cauză și puterea utilă a motorului se va reduce în același raport. La pierderi date, un motor cu înfășurarea din cupru cu puterea $P_n = 100$ kW va avea în cazul înfășurării din aluminiu o putere de numai $P_n = 78{,}75$ kW dacă se menține același tip de izolație și aceeași tensiune.

În concluzie, la schimbarea înfășurărilor din cupru prin înfășurări din aluminiu are loc o creștere a rezistenței înfășurării pe fază cu 63% și o scădere a curentului nominal cu 21,25%. Puterea utilă a motorului în cazul înfășurărilor din aluminiu va fi de asemenea mai mică cu 21,25% decît valoarea corespunzătoare în cazul folosirii înfășurărilor din cupru. Factorul de putere se înrăutățește.

Exemplu. Se cere să se calculeze caracteristicile unui motor asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit, avînd următoarele date nominale:

$$P_n = 18{,}4 \text{ kW};\ U = 380/220 \text{ V};\ \text{conexiunea } Y/\Delta;\ \eta = 84{,}80\%;$$

$$I = 35{,}60/61{,}60 \text{ A}$$

la schimbarea înfășurării din cupru cu o înfășurare din aluminiu.

După rebobinarea cu un conductor din aluminiu, acest motor va avea următoarele date: $P_n = 14{,}49$ kW; $U = 380/220$ V; conexiunea Y/Δ; $I = 28{,}05/58{,}40$ A.

Pentru a nu se schimba puterea mașinii este posibil în anumite cazuri ca o dată cu schimbarea materialului conductor să se utilizeze pentru conductor și crestături o altă izolație.

6. Înfășurări de curent alternativ cu schimbarea numărului de poli

6.1. GENERALITĂȚI

După cum am văzut în cap. 5 la mașinile de curent alternativ, între frecvența f a tensiunii la borne, turația sincronă n a mașinii și numărul de perechi de poli p există relația (5.3, b)

$$n = \frac{60f}{p}.$$

Prin urmare, turația sincronă n a motoarelor sincrone și asincrone depinde de frecvența f a tensiunii rețelei de alimentare și de numărul de poli $2p$ ai mașinii. De menționat că la mașina sincronă turația auxului mașinii este egală cu turația sincronă, iar la mașina asincronă turația axului la mers în gol constă mai mică decît turația asincronă.

O dată ales numărul de poli, la generatoarele sincrone, la turație dată rezultă frecvența.

O metodă pentru schimbarea în trepte a turației sincrone n la frecvența f dată, în cazul motoarelor sau pentru schimbarea în trepte a frecvenței f la turație n dată, în cazul generatoarelor, este schimbarea numărului de perechi de poli p.

Această metodă este utilizată frecvent la motoarele asincrone pentru schimbarea în trepte a vitezei de mers în gol. De obicei, numai înfășurarea statorului este comutată din exterior, iar rotorul este echipat cu o înfășurare în colivie, potrivită pentru oricare număr de perechi de poli, fără să fie necesară schimbarea conexiunilor.

La motoarele sincrone, metoda este utilizată pentru schimbarea în trepte a vitezei, iar la generatoarele sincrone și îndeosebi la hidrogeneratoare, la care se aleg de obicei două viteze sincrone de lucru, pentru a permite utilizarea rațională a turbinei de antrenare, înfășurarea statorului și înfășurarea de excitație se prevăd cu schimbarea numărului de poli, o dată cu schimbarea vitezei, în vederea menținerii constante a frecvenței.

Motoarele asincrone care lucrează în regim special, cu porniri foarte dese, se echipează de asemenea cu înfășurări cu schimbarea numărului de poli, în vederea pornirii lor în două trepte. Avantajul acestor înfășurări constă în reducerea pierderilor la pornire ; randamentul crește, iar încălzirea mașinii în regim de pornire scade.

6.1.1. Principiul după care se execută înfășurările cu schimbarea numărului de poli

Metodele practice utilizate la înfășurările trifazate pentru schimbarea numărului de poli, de exemplu în raportul 2 : 1, constau în :

— comutarea înfășurării în așa fel încît să se obțină schimbarea sensului curentului în diferitele porțiuni de înfășurare ale fazelor, potrivit formării numărului de perechi de poli ;

— schimbarea conexiunilor între grupele de bobine, repartizîndu-le altfel, pe cele trei faze, de cum au fost conectate inițial, încît să se obțină numărul de poli respectiv.

Alteori în practică se combină cele două metode indicate, adoptîndu-se scheme în care se schimbă atît sensurile curenților prin diferitele porțiuni, cît și înserierea unor porțiuni de înfășurări în alte faze decît în faza în care au fost conectate inițial.

În cazul schimbării sensului curentului prin anumite porțiuni de înfășurare, se execută înfășurarea de fază din două sau trei porțiuni simetrice, care de cele mai multe ori sînt chiar grupele de bobine ale înfășurării. Pentru a se putea schimba curentul printr-o porțiune, este necesar să se scoată capetele porțiunilor de înfășurare la placa de borne.

În fig. 6.1, *a* este reprezentată schematic înfășurarea tetrapolară ($2p_2 = 4$) a unei faze, cu bobinele înseriate (o singură cale de curent), iar în fig. 6.1, *b* s-a reprezentat o înfășurare bipolară ($2p_1 = 2$) obținută din prima după schimbarea conexiunilor astfel încît curentul prin bobinele *3—4* să fie inversat (prin p_2 s-a notat numărul dublu de perechi de poli în raport cu numărul simplu p_1) ; pentru aceasta s-a desfăcut legătura dintre bobinele *2* și *3*, s-a schimbat borna *X* de la *4* la *3* și s-a reunit *2* cu *4*. Pentru a putea efectua aceste scheme de conexiune, înfășurarea de fază trebuie să aibă patru capete scoase la cutia de borne (bornele *1, 2, 3, 4*) ; prin urmare la înfășurarea trifazată sînt necesare în total 12 borne. În fig. 6.1, c și *d* sînt reprezentate înfășurările înainte și după schimbarea numărului de poli, bobinele înfășurării fiind conectate în paralel (două căi de curent). Pe figură s-au notat de asemenea și polii care se formează.

Din figură se observă că, dacă înfășurarea este cu pas diametral pentru numărul dublu de poli (în cazul înfășurării din fig. 6.1, *a* și c, $2p_2 = 4$), atunci la numărul de poli pe jumătate, înfășurarea este cu pas scurtat la jumătate.

Din fig. 6.1, *a, b,* c și *d* se mai constată că pentru a efectua schimbarea numărului de poli, începuturile și sfîrșiturile grupelor de bobine trebuie scoase la placa de borne (în acest caz particular fiecare fază necesită 4 borne, iar înfășurarea trifazată necesită în total 12 borne).

Schimbarea numărului de poli în același raport 2 : 1, de la 8 la 4 sau de la 12 la 6 etc., se face în mod asemănător, înfășurările respective fiind compuse din două sau mai multe înfășurări de tipul celor indicate, în fig. 6.1, *a*, *b*, *c* și *d*.

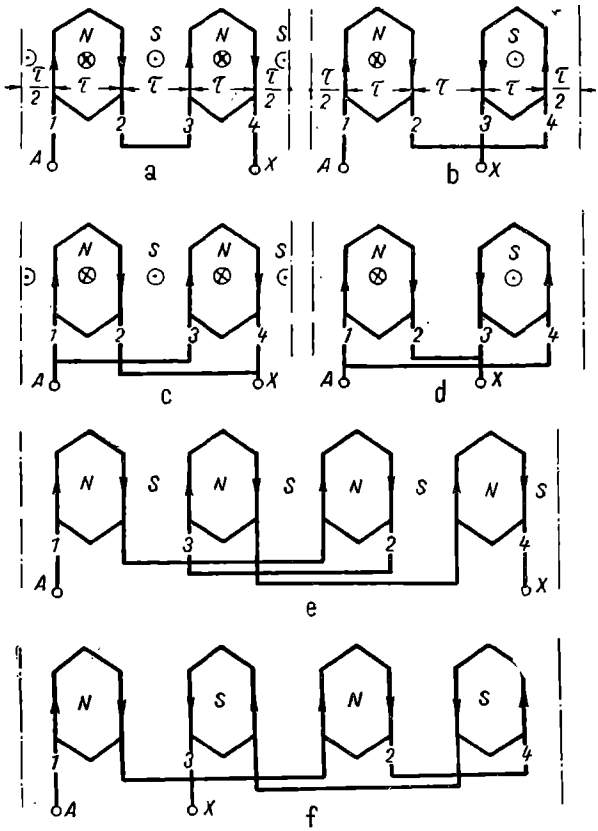


Fig. 6.1. Schemele de principiu ale înfășurării de fază cu schimbarea numărului de poli :

a — înfășurarea tetrapolară a unei faze ($a=1$); *b* — înfășurare bipolară a aceleiași faze ($a=1$); *c* — înfășurarea tetrapolară a unei faze ($a=2$); *d* — înfășurarea bipolară a aceleiași faze ($a=2$); *e* — înfășurarea cu opt poli a unei faze ($a=1$); *f* — înfășurarea cu patru poli a aceleiași faze ($a=1$).

În figura 6.1, *e* și *f* este reprezentată schematic, pe grupe de bobine, o înfășurare a unei faze pentru $2p_2=8$ (fig. 6.1, *e*) și pentru $2p_1=4$ (fig. 6.1, *f*) după schimbarea conexiunilor.

Din această figură se constată că, oricare ar fi numărul de perechi de poli la care se efectuează comutarea, sînt necesare de asemenea minimum 12 borne la aceste scheme pentru schimbarea numărului de poli de la $2p_2$ la jumătate, adică $2p_1=\frac{2p_2}{2}$.

Înfășurările cu schimbarea numărului de poli sînt practice cînd numărul de borne pe care le necesită este mic; comutatorul pentru schimbarea conexiunilor la borne are în acest caz o construcție mai simplă.

Numărul de borne se poate micșora mai mult, pînă la 6, dacă se combină schimbarea numărului de poli cu schimbarea schemei de conexiuni a înfășurării. Se constată că, de fapt, în schemele precedente, fiecare înfășurare de fază se compune din două porțiuni de înfășurare

(notate cu *1—2*, respectiv *3—4*), iar schimbarea numălului de poli se obține prin inversarea curentului într-una din aceste porțiuni (în care scop s-au schimbat bornele *3* și *4* între ele). Dacă se presupune că înfășurarea este conectată în triunghi, schimbarea numărului de poli se obține schimbînd alimentarea de la bornele *A, B, C* (fig. 6.2, *a*) la bornele *A′, B′, C′*, numărul de borne reducîndu-se în acest caz la 6;

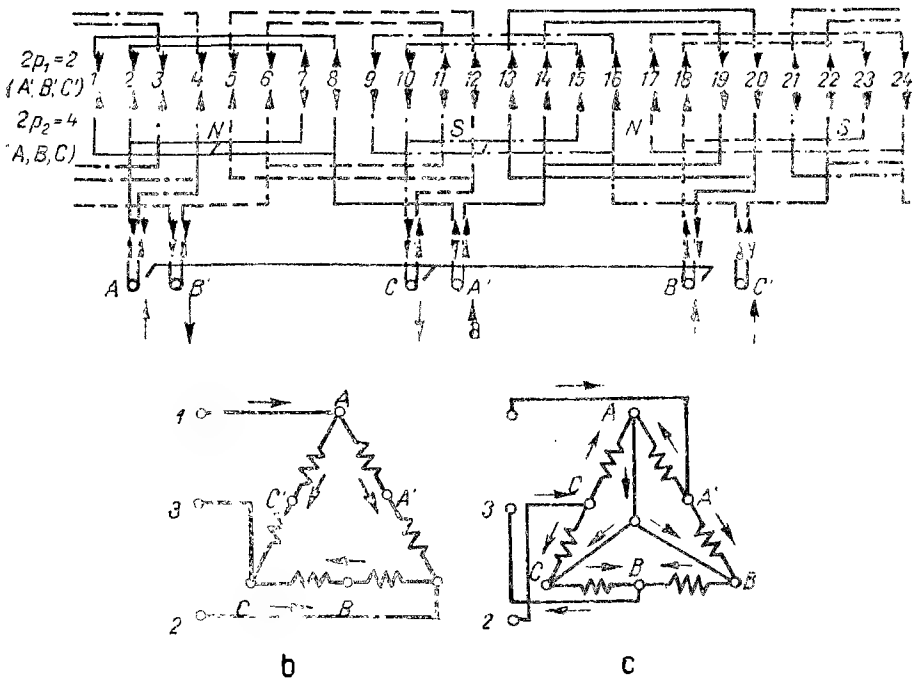


Fig. 6.2. Schema și legăturile unei înfășurări cu schimbarea numărului de poli la putere aproximativ constantă (conexiune tip Dahlander) :

a — schema desfășurată a unei înfășurări trifazate într-un strat, $Z=24$, tetrapolară, $q_2=2$, cu alimentarea la bornele *A, B, C*, $n_2=1\,500$ rot/min, și bipolară, $q_1=4$, cu alimentarea la bornele *A′, C′, B′*, $n_1=3\,000$ rot/min); *b* — schema de conexiuni triunghi (Δ) pentru înfășurarea tetrapolară; *c* — schema de conexiuni dublă stea (YY) pentru înfășurarea bipolară.

totodată se reunesc între ele bornele *A, B, C*. În această figură sensurile curenților au fost notate, pentru $2p_1=2$ în partea de sus, înfășurarea fiind alimentată pe la bornele *A′, B′, C′*, și pentru $2p_2=4$ în partea de jos, dacă înfășurarea se alimentează pe la bornele *A, B, C*. Din fig. 6.2, *b* și *c* rezultă că s-a trecut de fapt de la schema de co-

nexiuni triunghi la schema de conexiuni dublă stea (adică stea cu două căi de curent în paralel).

De remarcat că, o dată cu schimbarea numărului de poli, trebuie efectuată la această schemă și o intervertire a două faze, pentru ca mașina să-și păstreze sensul de rotație. Din fig. 6.2, *b* și *c* rezultă că, la trecerea de la schema de conexiuni triunghi la schema de conexiuni dublă stea, s-au intervertit între ele fazele 2 și 3.

Necesitatea intervertirii fazelor rezultă din fig. 6.2, *a*. De subliniat că schimbarea sensului de învîrtire se datorează schimbării succesiunii fazelor. Cînd se alimentează înfășurarea pe la bornele A, B, C se constată că după faza A, la $\frac{2}{3}\frac{Z}{2p_2} = \frac{2}{3}\frac{24}{4} = 4$ crestături spre dreapta, urmează faza B, în schimb dacă se alimentează înfășurarea pe la bornele A', B', C' se constată că după faza A', la $\frac{2}{3}\frac{Z}{2p_1} = 8$ crestături spre dreapta, urmează faza C' și deci succesiunea fazelor este schimbată. Pentru a menține aceeași succesiune a fazelor înfășurării este necesară intervertirea fazelor înainte de conectarea lor la rețeaua de alimentare.

Conexiunea înfășurării cu schimbarea numărului de poli prezentată anterior este cunoscută sub numele de conexiunea Dahlander și este foarte răspîndită în practică. La placa de borne sînt necesare șase borne. Înfășurarea trifazată este conectată în triunghi la $2p_2 = 4$ poli și este comutată în stea dublă la $2p_1 = 2$ poli. Conexiunea tip Dahlander se poate aplica la orice motor asincron trifazat avînd înfășurarea comutabilă în raportul 2 : 1 a polilor, respectiv a turației.

6.1.2. **Caracteristicile mașinii înainte și după schimbarea numărului de poli**

O dată cu schimbarea numărului de poli la o înfășurare de curent alternativ a unui motor asincron se modifică și caracteristicile de funcționare ale mașinii : cuplu, tensiune, curent etc.

Din paragraful precedent (fig. 6.2) rezultă că înfășurarea are o schemă de conexiuni Δ la numărul dublu de perechi de poli p_2 și schemă YY la numărul simplu de perechi de poli p_1. Există și înfășurări la care se realizează numărul dublu de poli $2p_2$ la conexiunea YY, iar numărul înjumătățit de poli $2p_1$ la conexiunea Δ (v. fig. 6.18).

Modificarea schemei de conexiuni în vederea schimbării numărului de poli atrage după sine schimbarea numărului de spire pe fază de la o schemă de conexiune la alta, schimbarea tensiunii pe fază (dacă tensiunea rețelei rămîne aceeași), a curenților din înfășurare, a

cuplului mașinii etc. Totodată se schimbă și pasul înfășurării ; o înfășurare diametrală la numărul dublu de poli devine pentru numărul înjumătățit de poli o înfășurare cu pas scurtat. Acest fapt atrage după sine modificarea factorului de înfășurare al înfășurării.

Convenim să notăm cu : P_2 — puterea, U_2 — tensiunea pe fază, $M_{2\,max}$ — cuplul maxim, I_2 — curentul și k_{w2} factorul de înfășurare pentru conexiunea corespunzătoare numărului mare de poli, respectiv P_1, U_1, M_{1max}, I_1 și k_{w1} aceleași mărimi corespunzătoare numărului mic de poli.

În cele ce urmează se examinează pe rînd rapoartele U_2/U_1, $M_{2max}/M_{1\,max}$, I_2/I_1, P_2/P_1 în funcție de raportul inducțiilor magnetice în întrefier $\frac{B_2}{B_1}$, raportul factorilor de înfășurare $\frac{k_{w2}}{k_{w1}}$, raportul numărului de perechi de poli $\frac{p_2}{p_1}$ și raportul numărului de spire $\frac{w_2}{w_1}$.

Raportul tensiunilor pe fază se poate scrie aproximativ astfel :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{B_2}{B_1}\,\frac{k_{w2}}{k_{w1}}\,\frac{w_2}{w_1}\,\frac{p_1}{p_2}. \tag{6.1}$$

Dacă tensiunea de linie rămîne neschimbată, raportul tensiunilor pe fază este dat, de exemplu, la trecerea de la schema de conexiuni Δ pentru p_2, la schema de conexiuni YY, pentru p_1, rezultă că raportul tensiunilor pe fază este $\frac{U_2}{U_1} = \sqrt{3}$. În acest caz, în funcție de celelalte valori ale rapoartelor $\frac{k_{w2}}{k_{w1}}$, $\frac{w_2}{w_1}$ și $\frac{p_1}{p_2}$, rezultă raportul $\frac{B_2}{B_1}$ al inducțiilor magnetice, care este foarte important pentru stabilirea celorlalte caracteristici ale mașinii.

Raportul cuplurilor maxime se poate scrie, cu aproximație, astfel

$$\frac{M_{2\,max}}{M_{1\,max}} \approx \left(\frac{B_2}{B_1}\right)^2 \left(\frac{k_{w1}}{k_{w2}}\right)^2 \left(\frac{p_1}{p_2}\right); \tag{6.2, a}$$

pentru $k_{w1} \approx 1$, $k_{w2} = 0{,}7$, iar $p_2 = 2p_1$ rezultă raportul cuplurilor maxime

$$\frac{M_{2\,max}}{M_{1\,max}} \approx \left(\frac{B_2}{B_1}\right)^2. \tag{6.2, b}$$

În ipoteza că mașina este solicitată identic, adică raportul inducțiilor magnetice $\frac{B_2}{B_1}$ are aproximativ valoarea 1, rezultă că mașina dezvoltă aproximativ același cuplu maxim la ambele viteze ; o astfel de înfășurare este potrivită pentru motoarele care funcționează la cuplu rezistent constant, indiferent de viteză.

În funcție de valoarea solicitărilor magnetice și de valoarea factorilor de înfășurare în cele două cazuri se pot realiza și înfășurări potrivite pentru motoarele care funcționează cu cuplu rezistent la arbore de tip ventilator (produs de exemplu de un ventilator).

În sfîrșit, dacă la viteza mai mică se alege o inducție magnetică mai mare și un factor de înfășurare de aproximativ 0,7, cuplul dezvoltat de mașină este mai mare la numărul de poli mare.

Raportul curenților de pornire are expresia.

$$\frac{I_{p2}}{I_{p1}} \approx \left(\frac{B_2}{B_1}\right)^2 \left(\frac{k_{w2}}{k_{w1}}\right)^2 \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^2; \qquad (6.3)$$

examinînd acest raport pentru valorile uzuale ale rapoartelor $\frac{B_2}{B_1}$ și $\frac{k_{w2}}{k_{w1}}$ rezultă că la numărul mare de poli, curentul de pornire este sensibil mai mic decît la numărul mic de poli. Din această cauză, în-

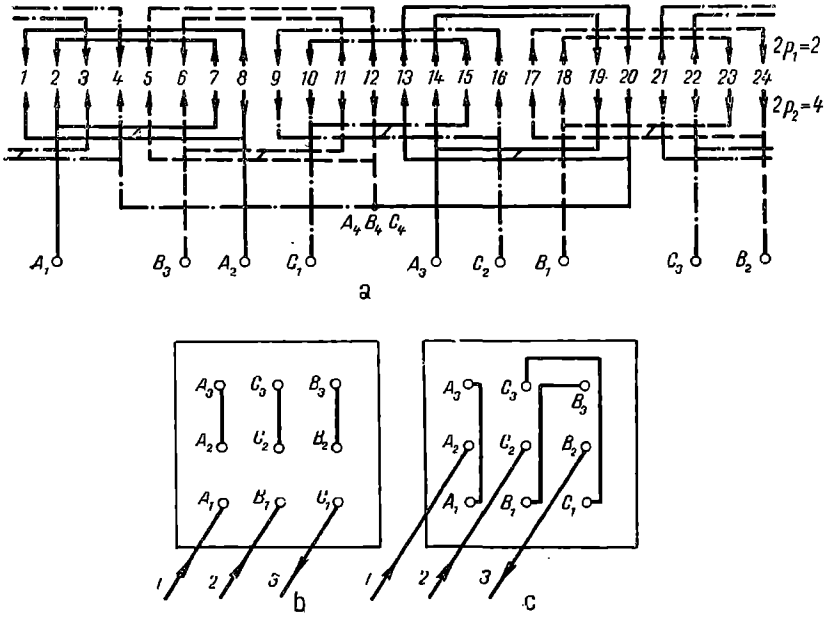


Fig. 6.3. Schema și legăturile unei înfășurări cu schimbarea numărului de poli la putere constantă :

a — schema desfășurată, Z=24 crestături; *b* — schema de conexiuni la borne, stea (Y) pentru $2p_2=4$ poli; *c* — schema de conexiuni la borne, stea (Y) pentru $2p_1=2$ poli.

fășurărilor cu schimbarea numărului de poli se utilizează nu numai pentru schimbarea în trepte a vitezei de mers în gol, ci și în vederea micșorării pierderilor la pornire, îndeosebi la motoarele cu porniri dese. În acest caz, mașina se pornește cu conexiunea corespunzătoare numărului mare de poli și se comută apoi pe conexiunea corespunzătoare numărului de poli.

Raportul puterilor nominale, în ipoteza că rămîn aceleași capacități de suprasarcină, este

$$\frac{P_2}{P_1} \approx \left(\frac{B_2}{B_1}\right)^2 \left(\frac{k_{w1}}{k_{w2}}\right)^2 \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^2 \approx \left(\frac{U_2 w_1}{U_1 w_2}\right)^2. \qquad (6.4)$$

De exemplu, la înfășurarea din fig. 6.2 rezultă $\frac{U_2}{U_1} = \sqrt{3}$; deoarece înfășurarea la conexiunea YY are $w_1 = \frac{w_2}{2}$ spire (w_2 este numărul de spire pe fază la conexiunea $\triangle$), raportul puterilor devine

$$\frac{P_2}{P_1} \approx \left(\sqrt{3}\,\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{3}{4} = 0{,}75.$$

Înfășurarea din fig. 6.2 este potrivită, deci, pentru motoarele funcționînd în regimul în care puterea la arbore variază puțin de la viteza mică (numărul mare de poli) la viteza mare (numărul mic de poli). Se spune că la astfel de înfășurări comutarea se face la putere aproximativ constantă.

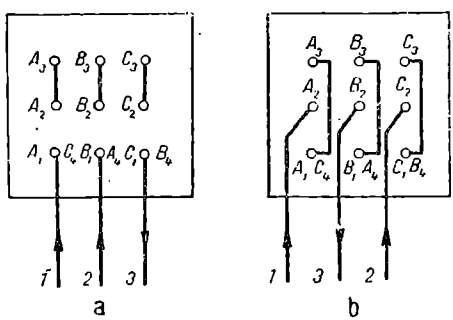


Fig. 6.4. Schema legăturilor la borne a înfășurării din fig. 6.3, *a* pentru schimbarea numărului de poli la putere constantă:

a — schema de conexiuni la borne, triunghi ($\triangle$), pentru $2p_2=4$ poli; *b* — schema de conexiuni la borne, triunghi ($\triangle$), pentru $2p_2=2$ poli.

Înfășurarea reprezentată în fig. 6.3, *a* necesită 9 borne; prin schimbarea numărului de poli, conexiunea Y a înfășurării rămîne aceeași. În fig. 6.3, *b* și *c* se arată legăturile pe care le realizează comutatorul de prize la schimbarea numărului de poli. Dacă prin intercalarea fazelor se asigură o alungire, respectiv o scurtare, în așa fel încît factorul de înfășurare să rămînă același, schimbarea numărului de poli se poate efectua la puterea constantă în cazul acestei înfășurări, deoarece tensiunea pe fază și numărul de spire rămîn constante.

Aceeași înfășurare se poate conecta și în triunghi pentru ambele numere de perechi de poli (fig. 6.4), puterea motorului rămînînd constantă la cele două viteze.

6.2. ÎNFĂŞURĂRI CU SCHIMBAREA NUMĂRULUI DE POLI ÎN RAPORTUL 2 : 1

6.2.1. Înfăşurări într-un strat

În paragraful precedent s-au prezentat scheme de înfăşurări într-un singur strat cu schimbarea numărului de poli la putere aproximativ constantă (fig. 6.2) şi respectiv la putere constantă (fig. 6.3 şi 6.4).

Înfăşurarea reprezentată în fig. 6.5 este potrivită pentru a se asigura un cuplu constant la axul motorului la cele două turaţii corespunzătoare numărului de poli $2p_2=4$ (conexiunea Y, fig. 6.5, *b*) şi

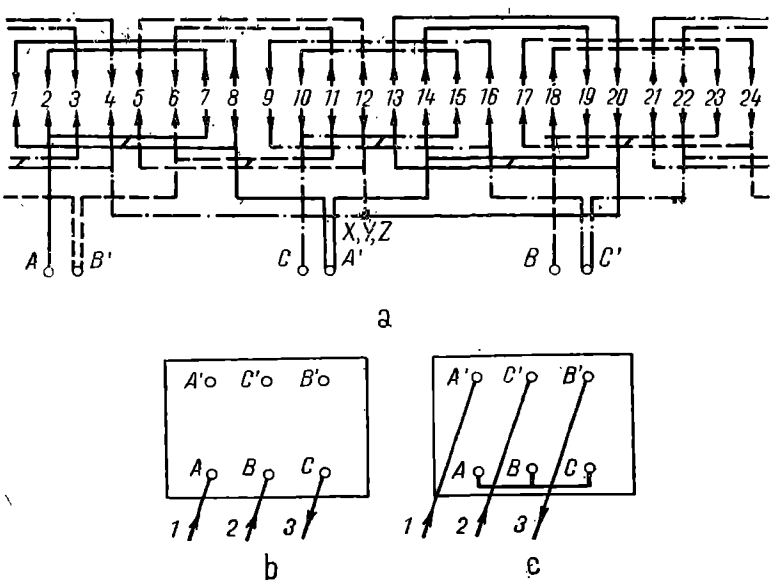


Fig. 6.5. Schema şi legăturile unei înfăşurări cu schimbarea numărului de poli la cuplu constant :

a — schema desfăşurată, Z=24 crestături; *b* — schema de conexiuni la borne, stea (Y), pentru $2p_2=4$ poli; *c* — schema de conexiuni la borne, dublă stea (YY), pentru $2p_1=2$ poli.

$2p_1=2$ (conexiunea YY, fig. 6.5, *c*). Numărul de borne este redus în acest caz la 6. Legăturile la placa de borne pentru înfăşurarea cu schimbarea numărului de poli la cuplu constant, conexiunile fiind triunghi (Δ) respectiv dublu triunghi (ΔΔ), sînt reprezentate în fig. 6.6.

Dacă la aceeași înfășurare din fig. 6.5, *a* se adoptă schemele de conexiuni indicate în fig, 6.7, la trecerea de la numărul mare de poli la numărul mic de poli cuplul mașinii crește, realizîndu-se astfel un motor cu caracteristica cuplului de tip ventilator. De remarcat că această înfășurare necesită 9 borne (la $2p_2=2$, schema de conexiuni este stea, iar la $2p_1=1$ este dublu triunghi). Dacă legăturile la placa de borne se fac conform celor indicate în fig. 6.8 (vezi notațiile înfășurării din fig. 6.3, *a*), atunci se poate realiza schimbarea numărului de poli la cuplul aproximativ constant.

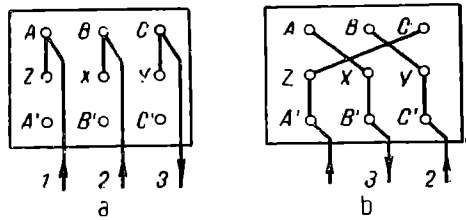


Fig. 6.6. Schema legăturilor la borne a înfășurării din fig. 6.5, *a* pentru schimbarea numărului de poli la cuplu constant:
a — schema de conexiuni la borne, triunghi (△), pentru $2p_2=4$ poli; *b* — schema de conexiuni la borne, dublu triunghi (△△), pentru $2p_1=2$ poli.

Înfășurările într-un strat cu schimbarea numărului de poli avînd numere de poli multiplu întreg de 4 pentru viteza mică de rotație, respectiv multiplu întreg de 2 pentru viteza mare de rotație, se deduc ușor din înfășurările așa-zise „elementare" $\left(\frac{4 \text{ poli}}{2 \text{ poli}}\right)$, reprezentate mai înainte. Astfel, înfășurarea din fig. 6.9, avînd $2p_2=8$ și $2p_1=4$, cuprinde în ea de două ori înfășurarea „elementară" corespunzătoare reprezentată în fig. 6.2. De observat ordinea în care sînt legate între ele grupele de bobine, care compun înfășurarea aceleiași faze : grupele impare se leagă între ele formînd o semiînfășurare, în timp ce grupele pare formează a doua semiînfășurare. La fel se realizează și înfășurarea avînd $2p_2=12$ și $2p_1=6$ reprezentată în fig. 6.10 ; această înfășurare cuprinde în ea trei înfășurări „elementare".

În mod similar se poate realiza orice înfășurare într-un singur strat cu schimbarea numărului de poli în raportul 2 : 1. De exemplu, înfășurarea avînd $2p_2=16$ și $2p_1=8$ cuprinde patru înfășurări „elementare", iar înfășurarea cu $2p_2=20$ și $2p_1=10$ cuprinde cinci înfășurări „elementare" etc.

Și înfășurările care au numărul de crestături pe pol și fază q_2 diferit de doi (înfășurări diferite, din acest punct de vedere, față de cele analizate mai înainte) se realizează în același fel, numai că la aceste înfășurări schema de legături dintre bobine este determinată de valoarea lui q_2. Astfel, înfășurarea avînd $2p_2=8$, $2p_1=4$ și $q_2=1{,}5$, reprezentată în fig. 6.11, nu diferă în privința legăturilor dintre grupele de bobine, de înfășurarea din fig. 6.9, care are de asemenea

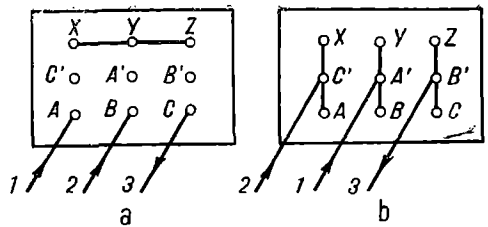


Fig. 6.7. Schema legăturilor la borne a înfășurării din fig. 6.5, *a* pentru schimbarea numărului de poli la cuplu ventilator :

a — schema de conexiuni la borne, stea (Y), pentru $2p_2=4$ poli; *b* — schema de conexiuni la borne triunghi (Δ), pentru $2p_1=2$ poli.

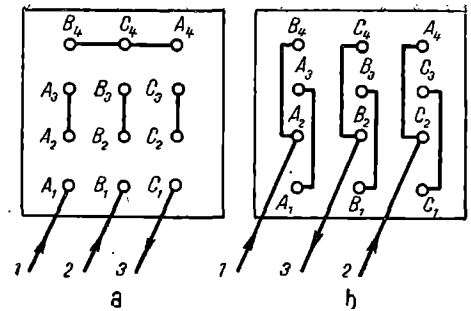


Fig. 6.8. Schema legăturilor la borne a înfășurării din fig. 6.3, *a* pentru schimbarea numărului de poli la cuplu aproximativ constant

a — schema de conexiuni la borne stea (Y) pentru $2p_2=4$ poli; *b* — schema de conexiuni la borne dublu triunghi (ΔΔ), pentru $2p_1=2$ poli.

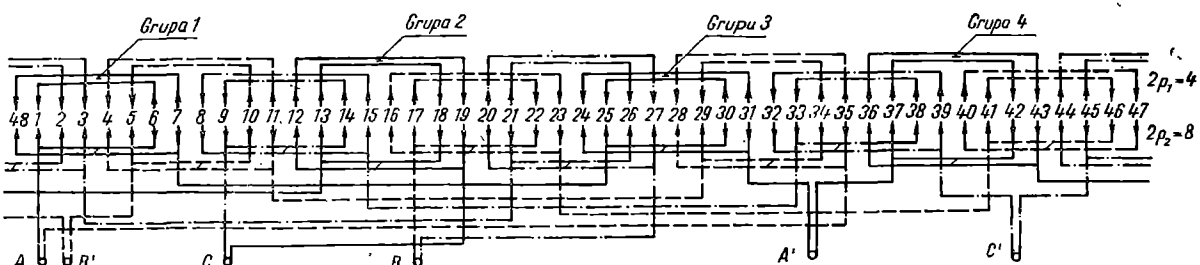


Fig. 6.9. Înfășurare trifazată într-un singur strat cu schimbarea numărului de poli în raportul 2 : 1, avînd $Z=48$, $2p_2=8$ și $2p_1=4$ (legăturile sînt scoase pentru conexiunea tip Dahlander).

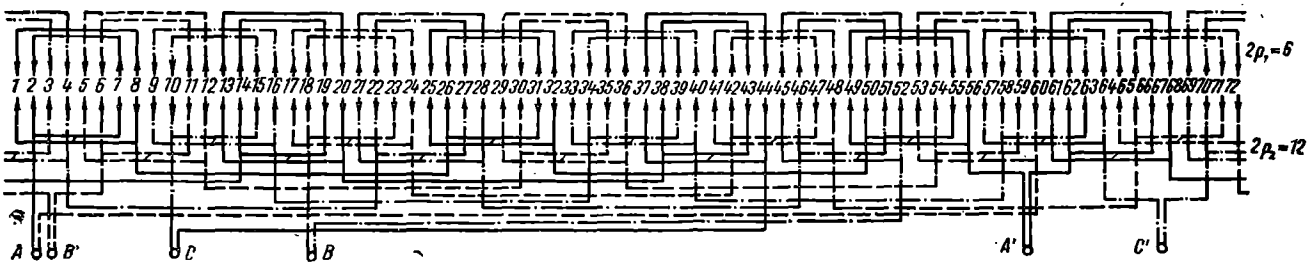


Fig. 6.10. Înfășurare trifazată într-un singur strat cu schimbarea numărului de poli în raportul 2 : 1, avînd $Z=72$, $2p_2=12$ și $2p_1=6$ (legăturile sînt scoase pentru conexiunea tip Dahlander).

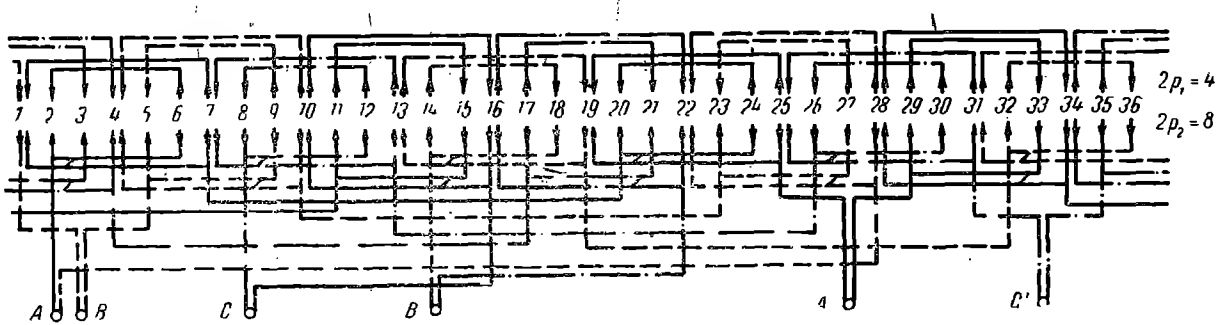


Fig. 6.11. Înfășurarea trifazată într-un singur strat cu schimbarea numărului de poli în raportul 2 : 1, avînd $Z=36$, $2p_2=8$, $2p_1=4$ și $q_2=1{,}5$ (legăturile sînt scoase pentru conexiunea tip Dahlander).

$2p_2=8$ și $2p_1=4$. Deosebirea constă în diferența constructivă dintre grupele de bobine care compun cele două înfășurări. Înfășurarea din fig. 6.11 având $q_2=1{,}5$ a fost executată parțial într-un strat și parțial în două straturi, numărul grupelor de bobine fiind egal cu acela al înfășurării din fig. 6.9.

O înfășurare care ar avea $2p_2=8$, $2p_1=4$ și $q_2=3$ s-ar compune din același număr de grupe de bobine ca și înfășurările reprezentate în fig. 6.9 și 6.11, numai că în acest caz fiecare grupă va fi compusă din trei bobine ; înfășurarea va necesita 72 crestături. Pentru cazul $2p_2=2$, $2p_1=4$ și $q_2=4$ înfășurarea, va fi compusă din grupe de cîte patru bobine repartizate în 96 crestături.

Pornind de la înfășurările „elementare" cu q_2 dat se pot determina schemele pentru orice înfășurare cu schimbarea numărului de poli în raportul 2 : 1, indiferent care vor fi valorile $2p_2$, $2p_1$ și q_2. De exemplu, o înfășurare avînd $2p_2=12$, $2p_1=6$ și $q_2=3$ va fi compusă din grupe de cîte trei bobine și va avea 108 crestături.

6.2.2. Înfășurări în două straturi

În prezent, înfășurările cu schimbarea numărului de poli se execută în general ca înfășurări în două straturi.

Înfășurările în două straturi se execută de regulă ca înfășurări cu pas scurtat, cu scurtare de 50% pentru numărul mic de poli ; în acest fel se obține o înfășurare simetrică la ambele viteze.

În cele ce urmează vor fi reprezentate schemele unor înfășurări în două straturi, avînd conexiunea tip Dahlander. Dacă începuturile și sfîrșiturile celor șase semiînfășurări se scot la placa de borne, așa cum s-a arătat mai înainte, se poate realiza oricare din următoarele scheme : schimbarea numărului de poli la putere aproximativ constantă, la putere constantă, la cuplu constant, la cuplu aproximativ constant și la cuplu tip ventilator. Subliniem și aici faptul că la o înfășurare dată, calculată pentru o anumită tensiune pe semiînfășurare, se pot realiza numai acele scheme care au aceeași tensiune pe semiînfășurare.

În fig 6.12 este reprezentată schema unei înfășurări „elementare" $\left(\frac{4 \text{ poli}}{2 \text{ poli}}\right)$ executată în dublu strat cu extinderea totală a zonelor, avînd două crestături pe pol și fază, pentru înfășurarea corespunzătoare turației de bază (1 500 rot/min). De observat că această înfășurare are $Z=24$, $q_2=2$ și este dedusă din înfășurarea „elementară" corespunzătoare executată într-un singur strat, reprezentată în fig. 6.2, *a*.

Înfășurarea din fig. 6.13 are trei zone la $2p_2=4$. Această înfășurare este echivalentă din punct de vedere electric cu înfășurarea din fig. 6.12, numai că prima este executată în coroană de grupe de bobine.

Toate înfășurările cu schimbarea numărului de poli care ar avea $q_2=2$ și ar cuprinde în ea de mai multe ori înfășurarea „elementară"

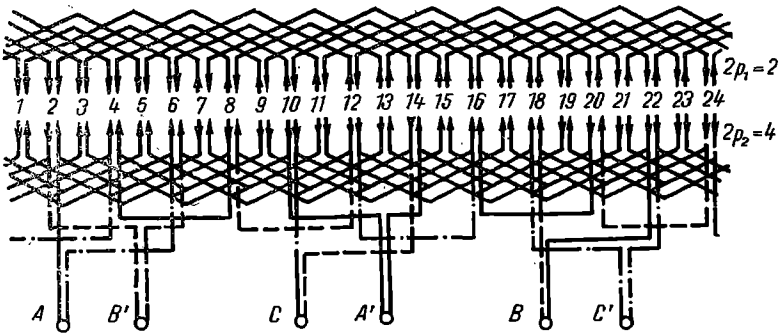


Fig. 6.12. Înfășurarea trifazată în două straturi în coroană de semigrupe de bobine, cu schimbarea numărului de poli în raportul 2 : 1, având $Z=24$, $2p_2=4$, $2p_1=2$ și $q_2=2$ (legăturile sînt scoase pentru conexiune tip Dahlander).

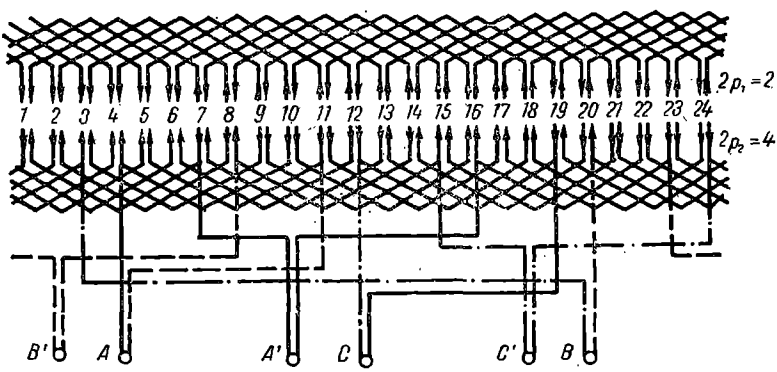


Fig. 6.13. Înfășurarea din fig. 6.12, executată în coroană de bobine.

din fig. 6.13, se pot stabili cu ușurință după modul indicat în cazul înfășurărilor similare într-un strat. De exemplu, înfășurarea din fig. 6.14, avînd $2p_2=8$, $2p_1=4$ și $q_2=2$, cuprinde de două ori înfășurarea „elementară" din fig. 6.13. Legăturile între grupele de bobine ce formează cele șase semiînfășurări se fac în mod similar celor din

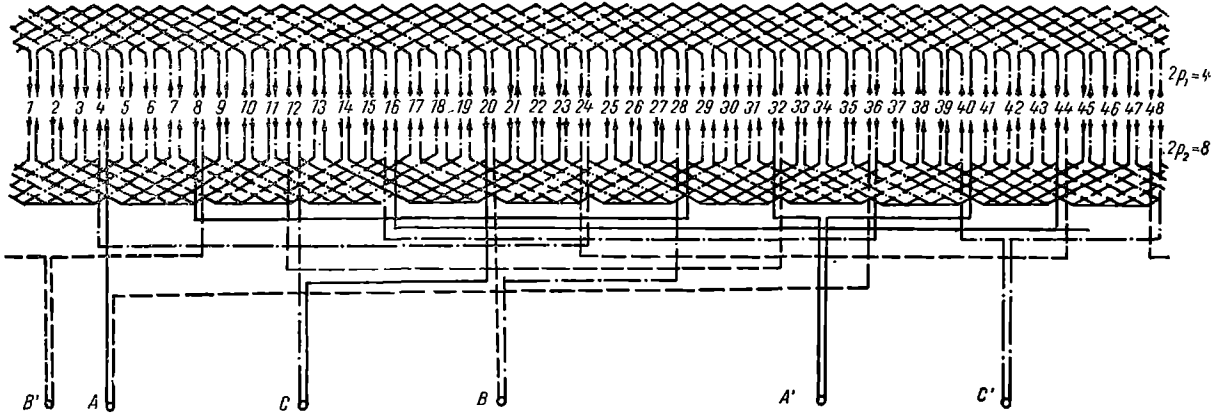


Fig. 6.14. Înfășurare trifazată în două straturi cu schimbarea numărului de poli în raportul 2 : 1, Z=48, $2p_2$=8, $2p_1$=4 și q_2=2 (legăturile sînt scoase pentru conexiunea tip Dahlander).

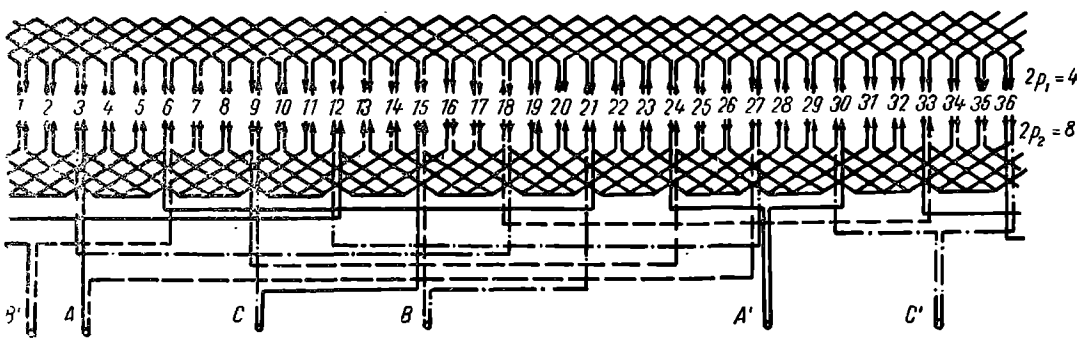


Fig. 6.15. Înfășurare trifazată în două straturi cu schimbarea numărului de poli în raportul 2 : 1, avînd Z=36, $2p_2$=8, $2p_1$=4 și q_2=1,5 (legăturile sînt scoase pentru conexiunea tip Dahlander).

fig. 6.9, unde este reprezentată aceeași înfășurare executată însă în simplu strat. Înfășurările cu $q_2=2$ și $2p_2=12$, $2p_1=6$ au 72 crestături și cuprind trei înfășurări „elementare", cele cu $2p_2=16$ și $2p_1=8$ au 96 crestături, și cuprind patru înfășurări „elementare", iar cele cu $2p_2=20$ și $2p_1=10$, au 120 crestături și cuprind cinci înfășurări „elementare".

Înfășurările în două straturi cu schimbarea numărului de poli, care au $2q_2=2$, se realizează din punctul de vedere al legăturilor dintre grupele de bobine la fel ca înfășurările reprezentate mai înainte, numai că grupele acestora trebuie să conțină $2q_2$ bobine. Astfel, înfășurarea din fig. 6.11 executată în două straturi este reprezentată în fig. 6.15 ; înfășurarea „elementară" corespunzătoare acestei înfășurări are 18 crestături.

În fig. 6.16 este reprezentată înfășurarea „elementară" avînd $q_2=4$; la aceasta, grupele de bobine sînt compuse din cîte opt bobine ($2q_2$).

O înfășurare avînd $q_2=1$, cu $2p_2=12$ și $2p_1=6$ este reprezentată în fig. 6.17. Ea conține trei înfășurări „elementare", revenindu-i fiecăreia cîte 12 crestături.

Pornind de la înfășurările „elementare" cu q_2 dat se pot determina și în cazul înfășurărilor în două straturi schemele oricăror înfășurări cu schimbarea numărului de poli în raportul 2 : 1, indiferent care vor fi valorile $2p_2$, $2p_1$ și q_2.

Toate înfășurările reprezentate pînă acum, cu legături scoase pentru conexiunea Dahlander, realizează la conexiunea triunghi (Δ) numărul mare de poli ($2p_2$), iar la conexiunea dublă stea (YY) numărul mic de poli ($2p_1$). Legînd între ele grupele de bobine conform celor indicate în fig. 6.18 se obțin scheme care asigură numărul mare de poli la conexiunea dublă stea (YY) și numărul mic de poli la conexiunea triunghi (Δ). De observat, în cazul acestei scheme, că legăturile dintre grupele de bobine ce compun semiînfășurările celor trei faze sînt astfel executate încît la schema de conexiuni dublă stea se obține turația joasă, iar la schema de conexiuni triunghi se obține turația ridicată. Pentru conexiunea triunghi se leagă faza *1* la borna *A*, faza *2* la borna *B* și faza *3* la borna *C*, iar bornele *A'*, *B'* și *C'* rămîn libere. Sensurile figurate pe laturile bobinelor (sensurile de sus) corespund momentului în care curentul parcurge înfășurarea de la bornele fazelor *1* și *2* și iese din faza *3*. Se formează astfel $2p_1=4$ poli ; cînd se alimentează bornele *A'* legată la faza *1*, *B'* legată la faza *3* și *C'* legată la faza *2*, bornele *A*, *B* și *C* fiind legate între ele, se formează o dublă stea.

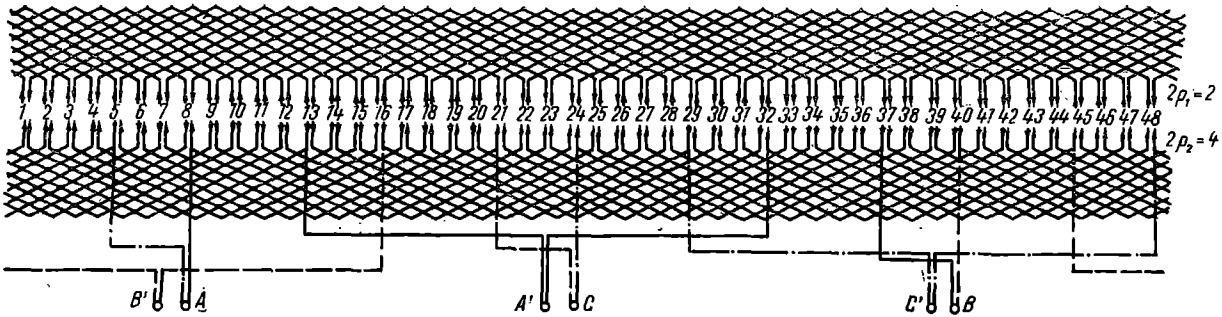


Fig. 6.16. Înfășurare trifazată în două straturi, cu schimbarea numărului de poli în raportul 2 : 1, avînd $Z=48$, $2p_2=4$, $2p_1=2$ și $q_2=4$ (legăturile sînt pentru conexiunea tip Dahlander).

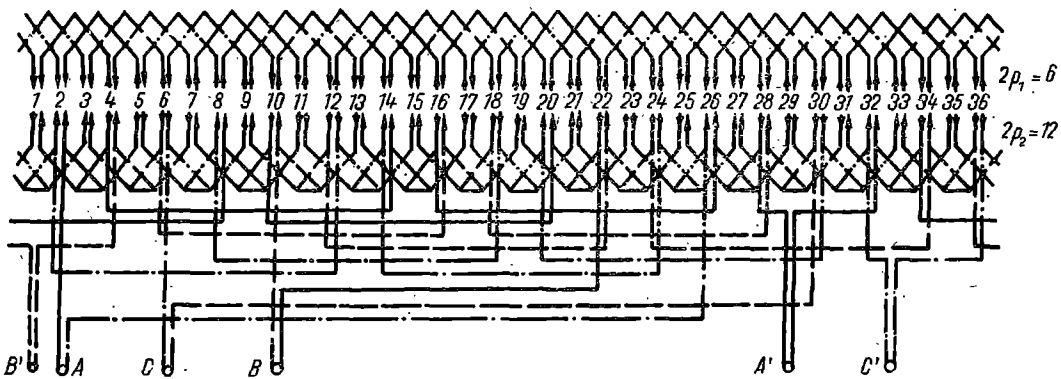


Fig. 6.17. Înfășurare trifazată în două straturi, cu schimbarea numărului de poli în raportul 2 : 1, avînd $Z=36$, $2p_2=12$, $2p_1=6$ și $q_2=1$ (legăturile sînt scoase pentru conexiunea tip Dahlander).

Sensurile corespunzătoare de pe laturile bobinelor (sensurile de jos) indică formarea numărului mare de poli ($2p_2=8$ poli).

Modul deosebit de legare a grupelor de bobine pentru obținerea conexiunilor YY/Δ, respectiv Δ/YY, rezultă din comparația schemelor din fig. 6.18 și 6.14. Avînd ca model acest exemplu, toate schemele tip Dahlander cu conexiunile Δ/YY, pot fi transformate, prin legături corespunzătoare între grupele de bobine, în scheme cu conexiunile YY/Δ.

De observat că pasul bobinelor care compun înfășurările din fig. 6.14 și 6.18 este mai mare decît pasul diametral corespunzător numărului mare de poli, adică înfășurarea este cu pas scurtat pentru numărul mic de poli și cu pas lungit pentru numărul mare de poli. În acest fel, factorii de înfășurare în cele două cazuri au aproximativ aceeași valoare, dar se obțin în schimb nesimetrii importante ale cîmpului magnetic învîrtitor și apar cîmpuri de scăpări relativ mari în întrefier.

Înfășurările cu extinderea totală a zonelor asigură un cîmp magnetic învîrtitor simetric numai cînd pasul bobinelor componente este egal cu pasul diametral corespunzător numărului mare de poli.

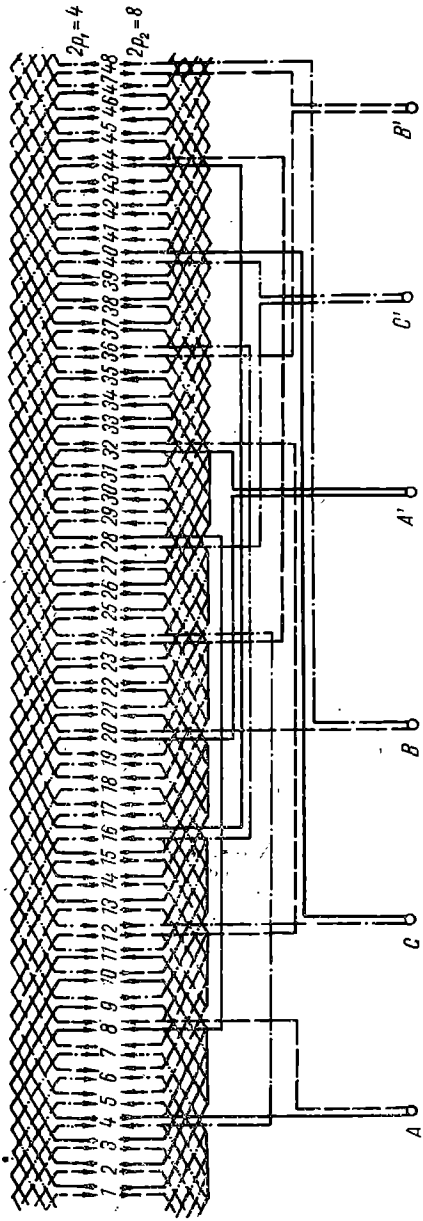


Fig. 6.18. Înfășurarea trifazată în două straturi, cu schimbarea numărului de poli în raportul 2:1, avînd $Z=48$, $2p_2=8$, $2p_1=4$ și $q_2=2$, conexiunea YY/Δ.

6.3. ÎNFĂȘURĂRI CU SCHIMBAREA NUMĂRULUI DE POLI ÎN RAPOARTE DIFERITE DE 2 : 1

Există scheme de înfășurări pentru motoarele asincrone prin care se realizează rapoarte de numere de poli egale cu 3 : 2 sau 4 : 3 ; s-au construit și înfășurări care realizează trei sau chiar patru rapoarte de numere de poli, mărindu-se astfel corespunzător numărul treptelor de viteză.

În cele ce urmează se vor prezenta scheme de înfășurări trifazate prin care se realizează rapoarte de numere de poli diferite de 2 : 1, cu o singură înfășurare, și scheme prin care se realizează trei și chiar patru trepte de turație, tot printr-o singură înfășurare.

Înfășurarea reprezentată în fig. 6.19, *a* are $2p_2 = 6$, raportul numerelor de poli fiind 6 : 2 și este construită într-un singur strat. Schemele de legături la placa de borne sînt indicate în fig. 6.19, *b* și c.

La ambele numere de poli, înfășurarea este conectată în stea ; realizarea celor două numere de poli se face în acest caz prin schimbarea pozițiilor porțiunilor de înfășurare dintr-o fază în alta (vezi înfășurarea înainte de conectare și după conectare).

În fig. 6.20, *a* este reprezentată schema desfășurată a unei înfășurări în două straturi cu schimbarea numărului de poli în raportul 8 : 6. Deschiderea bobinelor este egală cu 5 pași în crestături (1 la 6), iar pașii diametrali sînt 4,5 crestături pentru prima treaptă a vitezei și 6 crestături pentru a doua treaptă a vitezei. Înfășurarea are 18 ieșiri la placa de borne și necesită 16 borne.

Schemele de legături la placa de borne sînt arătate în fig. 6.20, *b* și c ; înfășurarea este conectată în stea la ambele numere de perechi de poli.

În cazurile tratate în acest paragraf metoda constă în conectarea anumitor porțiuni de înfășurare dintr-o fază în altă fază. Astfel, în faza A_1A_3 la numărul mare de poli sînt cuprinse porțiunile de înfășurare A_1A_1', A_2A_2' și A_3A_3' (fig. 6.20, *b*), iar la numărul mic de poli sînt cuprinse porțiunile A_1A_1', C_2C_2' și B_3B_3' (fig. 6.20, *c*).

De observat că între placa de borne a motorului și comutator se află 15 conductoare de legătură, cîte un conductor pentru fiecare bornă. Legarea a două borne între ele (fig. 6.20, *b* și c) este realizată de comutator la schimbarea numărului de poli.

Pentru înfășurările care ar trebui să asigure schimbarea turației în același raport (750/1 000 rot/min) și ar avea alt număr de crestă-

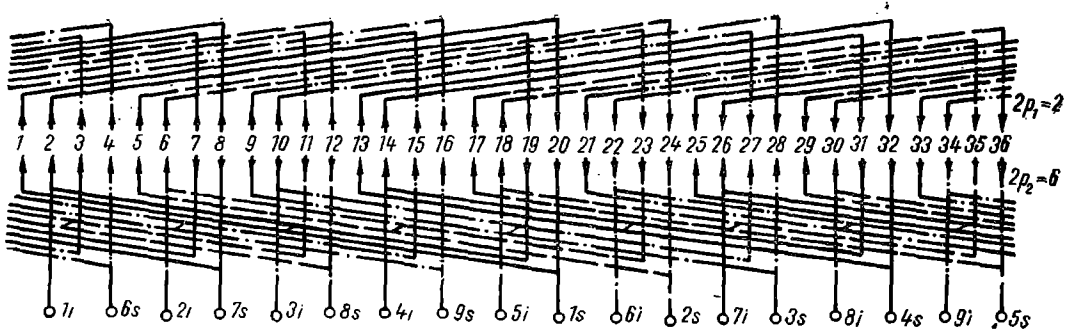


Fig. 6.19. Schema și legăturile unei înfășurări cu schimbarea numărului de poli în raportul 6 : 2 :

a — schema desfășurată Z=36 crestături; *b* — schema de conexiune la borne, stea (Y), pentru $2p_2=6$ poli; *c* — schema de conexiuni la borne stea (Y), pentru $2p_1=2$ poli.

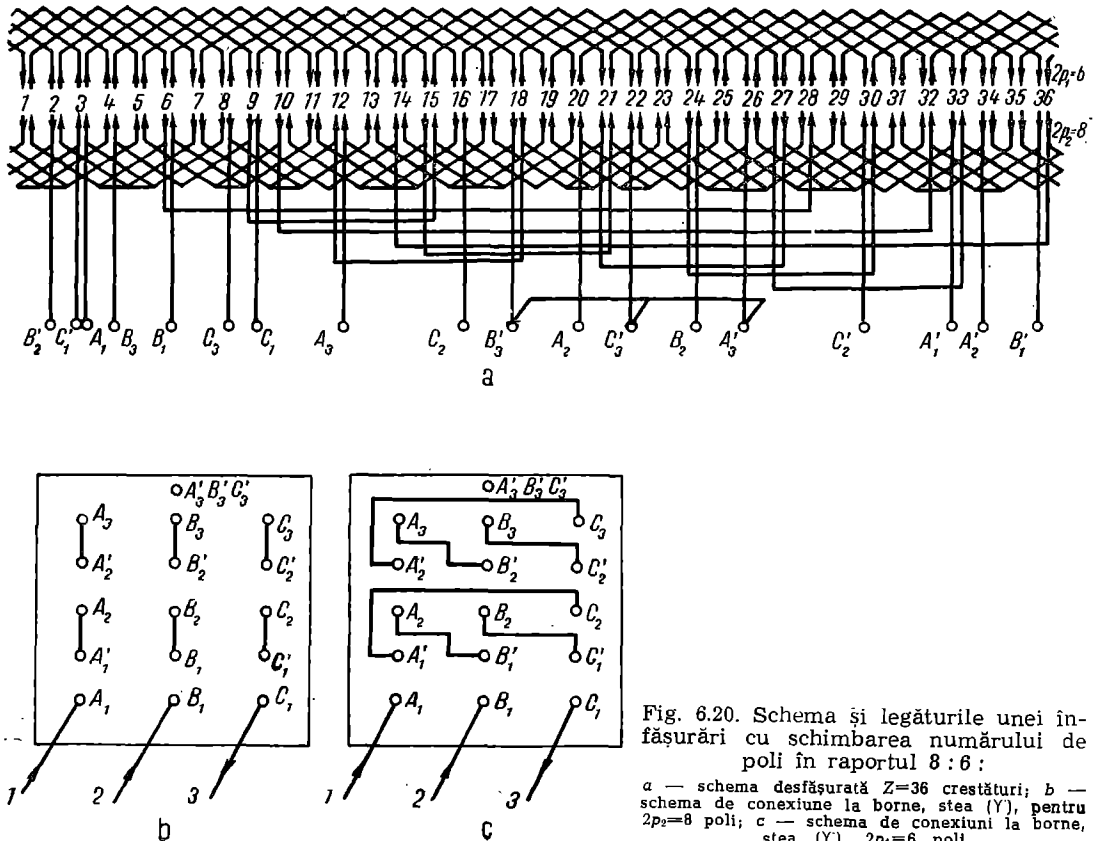


Fig. 6.20. Schema și legăturile unei înfășurări cu schimbarea numărului de poli în raportul 8 : 6 :

a — schema desfășurată $Z=36$ crestături; *b* — schema de conexiune la borne, stea (Y), pentru $2p_2=8$ poli; c — schema de conexiuni la borne, stea (Y), $2p_1=6$ poli.

turi față de înfășurarea din fig. 6.20, *a* s-ar schimba corespunzător numărul bobinelor ce compun grupele de bobine din înfășurare. De exemplu, o înfășurare cu $Z=72$ crestături, pentru 750/1 000 rot/min ar avea același număr de grupe de bobine ca înfășurarea din fig. 6.20, *a*, dar pe fiecare grupă numărul bobinelor componente ar fi dublu față de cel din această figură. Pasul bobinelor din noua înfășurare devine egal cu 10 (adică 1 la 11).

În fig. 6.21, *a* este reprezentată o schemă desfășurată a unei înfășurări în două straturi, cu schimbarea numărului de poli în trei trepte 6 : 4 : 2.

Schemele de conexiune la placa de borne, corespunzătoare pentru formarea celor 6, 4 și respectiv 2 poli sînt indicate în fig. 6.21, *b*, respectiv 6.21, *c* și *d*.

Între placa de borne a înfășurării din fig. 6.21, și comutator se găsesc 15 conductoare de legătură : cîte un conductor de la fiecare bornă.

Pentru înfășurările care ar trebui să asigure aceleași viteze de rotație (1 000, 1 500, 3 000 rot/min) și ar avea alt număr de crestături față de înfășurarea din fig. 6.21, *a*, s-ar schimba corespunzător numărul bobinelor ce compun grupele de bobine din înfășurare. De exemplu, o înfășurare avînd $Z=54$ crestături, pentru 1 000, 1 500, 3 000 rot/min ar avea același număr de grupe de bobine ca înfășurarea din fig. 6.21, *a*, dar pe fiecare grupă numărul bobinelor va crește cu raportul crestăturilor $54 : 36=1{,}5$, adică numărul bobinelor ce compun grupele de bobine ale noii înfășurări va fi $1{,}5 \cdot 4=6$. Pasul bobinelor y va fi egal cu 9 (1 la 10) în cazul cînd înfășurarea se va executa ca înfășurare de bază pentru $2p=6$ poli. În rest, legăturile interioare dintre grupele de bobine, numărul ieșirilor la placa de borne, numărul bornelor și schemelor de conexiuni corespunzătoare celor trei viteze rămîn aceleași.

În cazul cînd nu se poate realiza o singură înfășurare cu schimbarea numărului de poli pentru trei viteze, se caută să se combine două numere de poli pentru care se poate executa o singură înfășurare cu schimbarea numărului de poli, urmînd ca pentru al treilea număr de poli să se execute o altă înfășurare, distinctă, așezată în aceleași crestături cu prima. În asemenea cazuri, în timpul funcționării, cele două înfășurări nu se vor afla niciodată simultan sub tensiune.

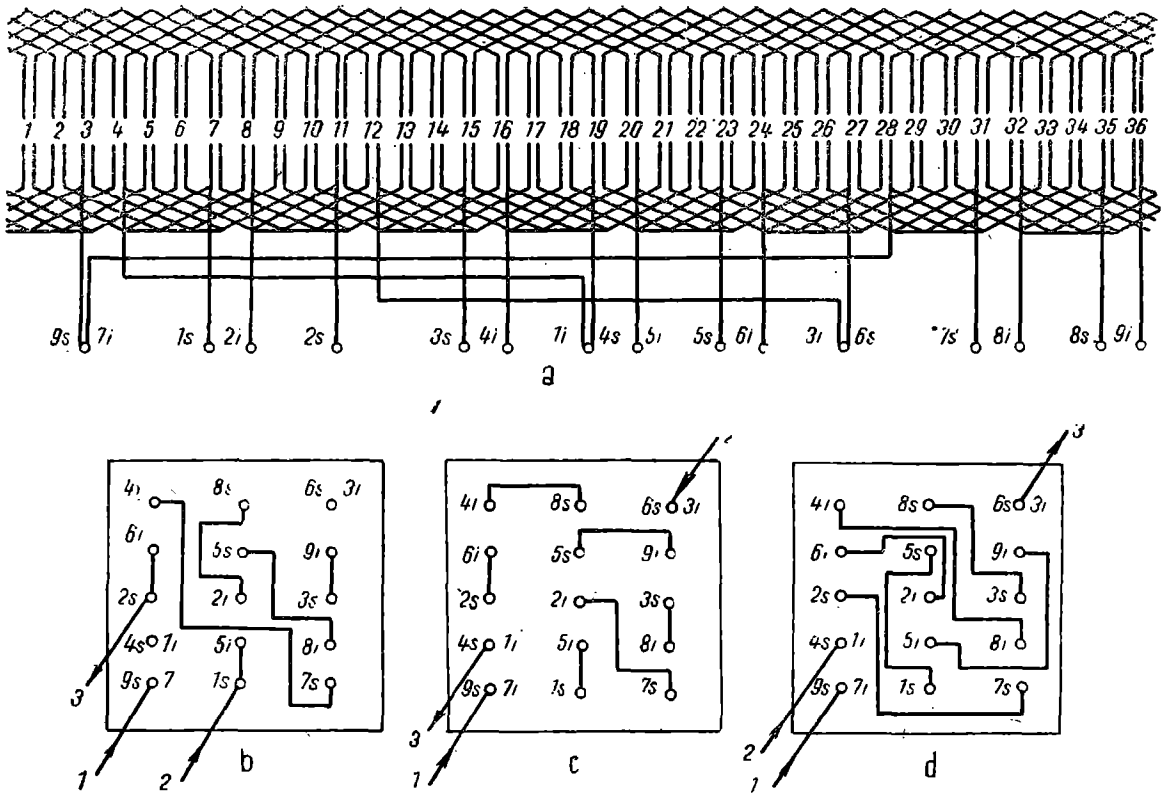


Fig. 6.21. Schema și legăturile unei înfășurări cu schimbarea numărului de poli în trei trepte 6 : 4 : 2 :
a — schema desfășurată, $Z=36$ crestături; *b* — schema de conexiuni la borne pentru $2p_3=6$ poli; *c* — schema de conexiuni la borne pentru $2p_2=4$ poli; *d* — schema de conexiuni la borne pentru $2p_1=2$ poli.

7. Înfășurările mașinilor electrice de puteri mici

Înfășurările prezentate în capitolele precedente se întîlnesc în principal și la mașinile electrice de puteri mici și foarte mici. Dar la mașinile electrice, avînd puterea sub 100 W și utilizate în special ca motoare, se recurge la cele mai simple înfășurări, pentru a reduce la minimum prețul de cost al mașinii.

Reprezentarea grafică a acestor înfășurări se face la fel ca pentru înfășurările mașinilor mijlocii și mari, menținîndu-se toate notațiile și denumirile respective.

Tipurile de înfășurări utilizate la mașinile mici sînt înfășurări concentrate și înfășurări repartizate.

Majoritatea mașinilor mici sînt bipolare avînd doi poli principali.

La mașinile cu colector, se reduce mult lungimea mașinii prin așezarea periilor în spațiul liber dintre capetele bobinelor de excitație ; o grijă deosebită este acordată dispunerii capetelor de bobine ale înfășurării rotorului, pentru a rezulta rotorul cît mai scurt posibil.

7.1. ÎNFĂȘURĂRI CONCENTRATE

7.1.1. Înfășurări de excitație

Asemenea înfășurări se întîlnesc la motoarele asincrone cu pol ecranat, la polii inductori ai motoarelor de curent continuu, de curent alternativ sau universale ; înfășurările de excitație ale selsinelor generatoare și motoare se execută cel mai adesea tot de tip concentrat. În fig. 7.1 sînt reprezentate două tipuri de înfășurări concentrate, împreună cu armăturile lor, întîlnite la motorul asincron cu pol ecranat (fig. 7.1, *a*), și la polii inductori ai selsinului (fig. 7.1, *b*).

Caracteristic pentru aceste înfășurări concentrate este utilizarea lor și la motoarele de curent alternativ, unde îndeplinesc rolul unor înfășurări de excitație sau de înfășurări primare (cum este cazul la motorul cu pol ecranat). Din această cauză execuția acestor înfășurări este mai pretențioasă.

De obicei aceste înfășurări se realizează cu conductor de cupru izolat cu email. Bobinele se execută fie direct pe o carcasă izolantă (v. fig. 7.1, *a*), fie pe un șablon și ulterior li se dă forma corespunzătoare polilor pe care se montează, pentru a încăpea în spațiul rezervat înfășurării.

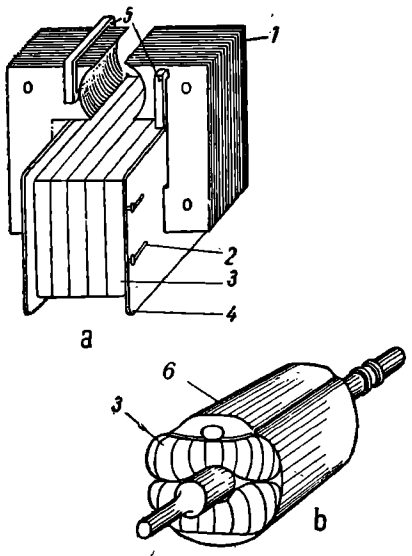


Fig. 7.1. Înfășurări concentrate și armăturile pe care sînt montate:
a — pentru un motor asincron cu pol ecranat; *b* — pentru polii inductori ai selsinului; *1* — miezul statorului; *2* — bornele de alimentare; *3* — înfășurarea de excitație; *4* — carcasa bobinei; *5* — spiră ecran; *6* — miezul rotorului.

7.1.2. Înfășurări în scurtcircuit

Pentru pornirea motoarelor asincrone monofazate se prevăd înfășurări sau dispozitive speciale; în acest scop se utilizează o înfășurare în scurtcircuit, care cuprinde aproximativ 1/3 din secțiunea polului (v. fig. 7.1, *a*, spira este notată cu 5). Această înfășurare constă de cele mai multe ori dintr-o spiră în scurtcircuit introdusă în crestătura prevăzută în piesa polară și care se închide în jurul polului, avînd capetele sudate între ele. Spira nu se izolează față de pol. Secțiunea spirei se determină experimental, urmărindu-se realizarea unei mașini cu cuplu mare de pornire și un factor de putere bun în funcționare.

De remarcat sensul în care se închid spirele în jurul polului respectiv; astfel dacă la polul din stînga spira se închide sus, la polul din dreapta spira se închide jos. Numai astfel se obține un cîmp magnetic progresiv (adică un cîmp magnetic învîrtitor care apare numai în zonele polilor) în același sens și mașina poate să dezvolte un cuplu la pornire.

S-au experimentat cu succes și motoare monofazate cu două spire în scurtcircuit pe pol. Una din spire cuprinde 1/3 din pol, iar a doua spiră de la 1/2 pînă la 2/3 din pol. Execuția este însă mai complicată, deoarece trebuie executate pe fiecare pol două spire în scurtcircuit.

S-au executat și motoare asincrone monofazate echipate cu o înfășurare în scurtcircuit în locul spirei scurtcircuitate. Această înfășurare constă din cîte o bobină așezată pe cîte un pol ocupînd locul

spirei în scurtcircuit ; bobina este executată din conductor izolat cu bumbac sau email direct pe pol și este izolată față de pol. Capetele bobinei se leagă la o rezistență care constă de cele mai multe ori dintr-o lampă cu incandescență. La pornire, filamentul lămpii fiind rece, rezistența sa este mică și bobina funcționează aproape în scurtcircuit. Pe măsură ce motorul pornește, filamentul lămpii se încălzește și rezistența sa se mărește de 6—8 ori ; bobina va fi parcursă în funcționare de un curent mai mic, așa că rolul ei de seamă este numai la pornire. Asemenea scheme se întîlnesc, de exemplu, la motoarele sincrone monofazate cu pornire în asincron ; după ce a pornit motorul, cuplul asincron scade și motorul intră în sincronism datorită cuplului sincron.

7.2. ÎNFĂȘURĂRI REPARTIZATE

De cele mai multe ori înfășurările repartizate utilizate în construcția mașinilor mici se execută în principal după aceleași scheme întîlnite la mașinile mijlocii și mari. Particularitatea unora dintre ele provine din faptul că se renunță în parte la simetria perfectă a înfășurării și se adoptă soluții constructive adecvate, pentru a simplifica procesul tehnologic. Din dorința de a elimina la aceste mașini zgomotele produse de armonicile cîmpului magnetic, de exemplu la mașinile mici utilizate în instalațiile de înregistrare, s-au propus înfășurări repartizate speciale, denumite înfășurări sinusoidale ; prin aceste înfășurări se caută să se realizeze un cîmp magnetic practic sinusoidal în întrefierul mașinii.

În ultima vreme au apărut mașini de puteri mici avînd înfășurările imprimate, prin asemănare, cu circuitele imprimate ale aparatelor de radio.

7.2.1. Înfășurările mașinilor cu colector

Tipuri de înfășurări bobinate pentru indusul mașinilor mici, cu colector

Întrucît la mașinile de mică putere curenții sînt mici, la toate mașinile bipolare cu colector se utilizează în indus înfășurarea buclată simplă ; de obicei, numărul de mănunchiuri pe crestătură se alege egal cu 2, 4 sau 6 (numărul laturilor de bobină pe crestătură

este egal cu raportul dintre dublul numărului de lamele la colector și numărul de crestături). Înfășurarea într-un singur strat permite mai ușor automatizarea procesului tehnologic de bobinare direct pe mașină.

În fig. 7.2 este reprezentată o înfășurare buclată simplă diametrală, bipolară, cu două mănunchiuri pe crestătură și avînd $Z=K=12$. Spre deosebire de înfășurările buclate obișnuite, la această înfășu-

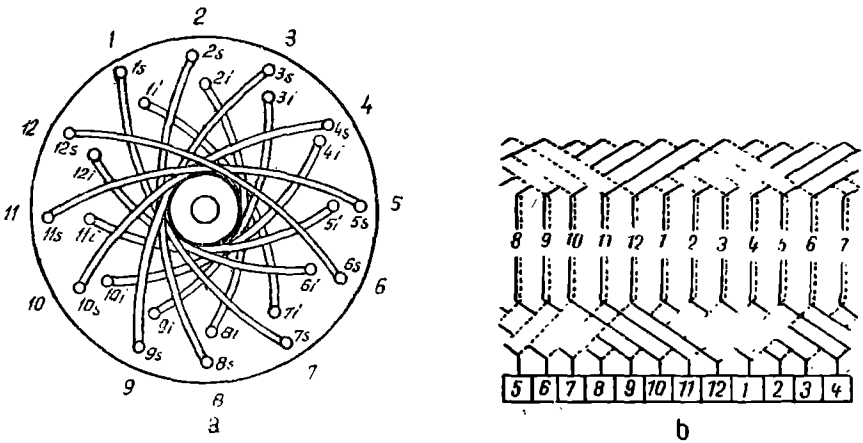


Fig. 7.2. Înfășurare bipolară buclată simplă într-un strat avînd $Z=K=12$, $y_1=5$: *a* — vederea capetelor de bobină de partea opusă colectorului; *b* — schema desfășurată; *c* — o altă dispunere a capetelor de bobine.

rare nu mai este respectată poziția identică a bobinelor ; jumătate din numărul bobinelor au ambele laturi așezate la fundul crestăturii, iar jumătate în exteriorul crestăturii.

Din fig. 7.2, *a*, în care s-a reprezentat vederea frontală a capetelor de bobine, rezultă modul de bobinare. Se execută întîi bobinele care au laturile așezate la fundul crestăturii în ordinea *1i—7i, 2i—8i, 3i—9i, 4i—10i, 5i—11i, 6i—12i,* capetele de bobină dispunîndu-se frontal, în coroană, în sensul bobinării astfel încît axul rotorului să rămînă la stînga. Se execută apoi bobinele care au laturile așezate în exteriorul crestăturilor în ordinea *7s—1s, 8s—2s, 9s—3s, 10s—4s, 11s—5s, 12s—6s,* capetele bobinelor dispunîndu-se în continuare în coroană (fig. 7.2, *a*). Înfășurarea se putea executa în mod asemănător în cazul în care se dispun capetele de bobină astfel încît axul să rămînă la dreapta.

În fig. 7.2, *b* este reprezentată schema desfășurată a înfășurării, indicîndu-se atît poziția capetelor de bobină unele față de altele, cît și legăturile la colector. Executînd înfășurarea în acest fel se evită preformarea bobinelor pe șablon. Dezavantajul acestei înfășurări îl constituie inegalitatea rezistențelor bobinelor datorită lungimii inegale a capetelor de bobină dispuse în plane frontale diferite. În schimb, așa cum s-a arătat mai sus, înfășurarea se poate executa la o mașină automată de bobinat, direct pe miezul magnetic.

O înfășurare în două straturi, *cu capetele de bobină dispuse în V* este reprezentată în fig. 7.3. După cum rezultă din vederea frontală

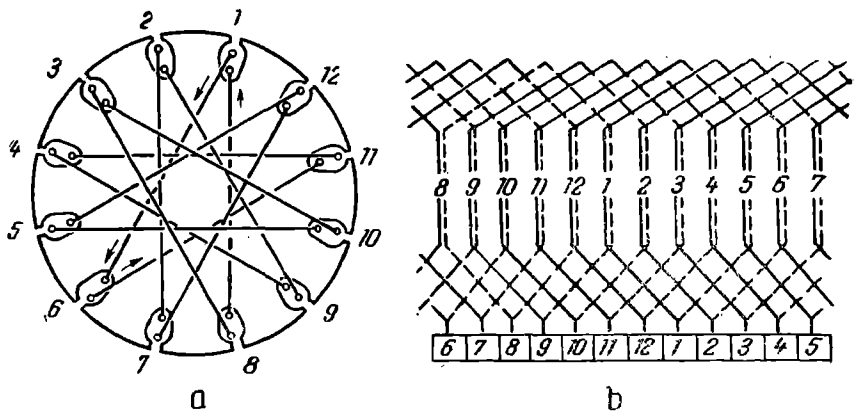


Fig. 7.3. Înfășurare bipolară buclată simplă în două straturi avînd $Z=K=12$, $y_1=5$, cu capetele de bobină dispuse în V :
a — vederea frontală a capetelor de bobină; *b* — schema desfășurată.

a capetelor de bobină (v. fig. 7.3, *a*) se bobinează mai întîi stratul interior din crestăturile *1* și *8*, apoi stratul exterior din *1* și stratul interior din *6*, apoi stratul exterior din *6* și stratul interior din *11* ș.a.m.d.

Execuția înfășurării se încheie cu bobina *3—8* dispusă în straturile exterioare ale acestor crestături. În fig. 7.3, *b* este reprezentată schema desfășurată a acestei înfășurări. După cum rezultă din schema desfășurată pentru execuția legăturilor la colector, conductoarele de legătură dintre bobine trebuie întrerupte și conectate conform schemei din fig. 7.3, *b*. Această înfășurare are capetele de bobină repartizate mai uniform decît înfășurarea din fig. 7.2 și rotorul echipat cu această înfășurare rezultă aproape echilibrat.

O înfășurare buclată simplă, bipolară, într-un strat, însă cu patru laturi de bobină pe crestătură, este reprezentată în fig. 7.4, avînd același număr de crestături și lamele ca înfășurarea din fig. 7.2. Pentru a putea executa înfășurarea, se alege pasul scurtat *I—VI* măsurat în crestături geometrice (care s-au notat cu cifre romane) spre deosebire de crestăturile elementare corespunzătoare lamelelor de colector care s-au notat cu cifre arabe. Introducerea în crestături a bobinelor înfășurării se face în ordinea *I—VI, VII—XII, III—VIII, IX— II, V—X, XI—IV*, capetele de bobină fiind așezate suprapus în mai multe plane frontale, așa cum rezultă din fig. 7.4, *a*. Legăturile

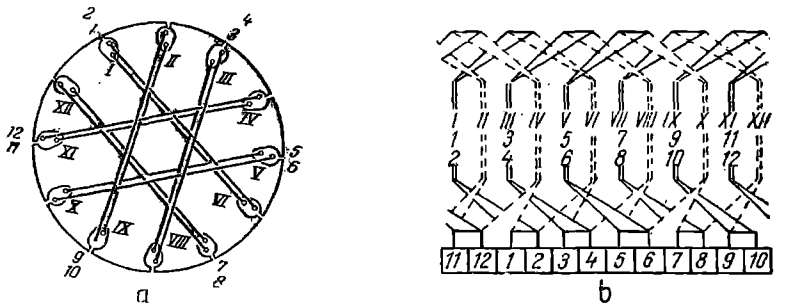


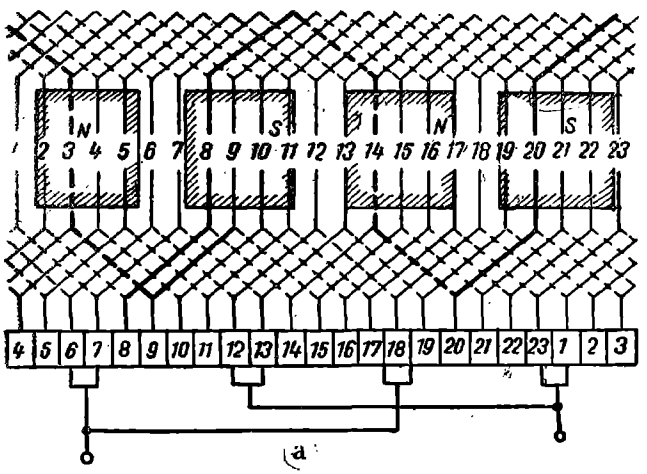
Fig. 7.4. Înfășurare bipolară buclată simplă în două straturi avînd $Z=K=12$, $y_1=6$:

a — vederea capetelor de bobine de partea opusă colectorului; *b* — schema desfășurată.

la colector se pot urmări în fig. 7.4, *b*. Remarcăm că se pot executa fie o dată ambele bobine (care au laturile de ducere, respectiv de întoarcere situate corespunzător în aceleași crestături, așa cum s-a indicat în fig. 7.4, *a*), fie se execută mai întîi bobinele care au laturile situate la fundul crestăturii și apoi cele din exterior.

În fig. 7.4, c se prezintă această dispunere mai echilibrată a capetelor de bobină ; în acest caz se bobinează mai întîi straturile interioare (*1, 7, 11, 5, 9, 3*), iar apoi cele exterioare (*2, 8, 12, 6, 10, 4*). Și la această înfășurare bobinele au rezistențe diferite, datorită lungimii inegale a capetelor de bobină și prezintă avantajul că se poate executa la o mașină automată de bobinat. De subliniat că la mașina construită cu acest tip de înfășurare pulsațiile tensiunii electromotoare indusă în circuitul rotorului sînt mai mari decît la o înfășurare în două straturi. Astfel, prin adoptarea acestor tipuri de înfășurări se realizează o automatizare a operațiilor de bobinare, deci o creștere a productivității muncii. Mașina de bobinat va trebui să asigure o întindere constantă a conductorului izolat.

După bobinarea numărului de spire, pentru care se reglează în prealabil mașina, oprirea și trecerea la secția următoare se face automat. Mașina trebuie să se oprească automat după ce s-au executat toate secțiile.



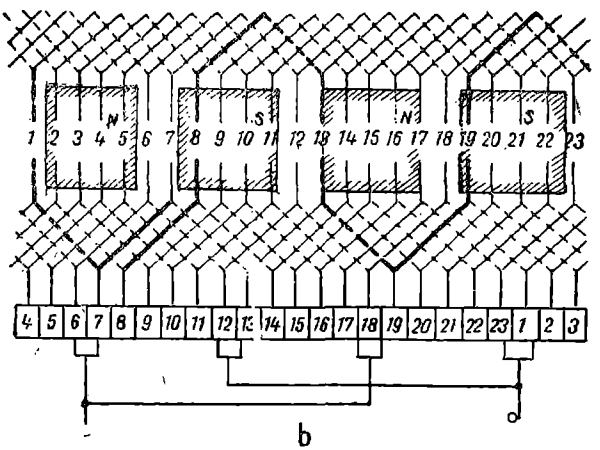


Fig. 7.5. Infășurare ondulată tetrapolară avînd $Z=K=23$: *a* — încrucișată $y=12$, $y_1=6$, $y_2=6$; *b* — neîncrucișată $y=11$, $y_1=5$, $y_2=6$.

Înfășurările în bare ale indusului mașinilor cu colector

Înfășurările ondulate sînt utilizate la mașinile mici cu colector numai în cazul înfășurărilor executate din bare.

În fig. 7.5 este reprezentată o înfășurare ondulată simplă în bare utilizată la demaroare pentru autovehicule; în această figură s-a desenat îngroșat cîte un parcurs. Indusul are 23 crestături și 23 lamele, iar mașina este tetrapolară ($p=2$). Pasul rezultant este $y=\frac{Z\pm1}{p}=\frac{23\pm1}{2}$. La înfășurarea încrucișată se ia semnul (+) și rezultă pasul $y=\frac{23+1}{2}=12$; în fig. 7.5, *a* este reprezentată această înfășurare cu o secție pe crestătură și avînd pașii $y_1=6$ și $y_2=6$.

Pentru a rezulta o înfășurare neîncrucișată se ia semnul (—) și rezultă pasul $y=\frac{23-1}{2}=11$, în fig. 7.5, *b* este reprezentată această înfășurare cu două mănunchiuri pe crestătură și avînd pașii $y_1=5$, $y_2=6$.

În cazul în care rotorul nu are numărul de crestături potrivit pentru a se executa o înfășurare ondulată, se recurge la realizarea unei înfășurări ondulate închisă artificial sau executată cu bobine oarbe (v. cap. 4).

Legăturile la colector

Mașinile mici bipolare sau tetrapolare, datorită configurației lor geometrice, comportă un spațiu relativ mare între înfășurările de excitație; în schimb, capetele de bobină rezultă ceva mai lungi, deoarece pentru introducerea bobinelor peste piesa polară spre a fi așezate pe pol (polul nefiind demontabil), aceste bobine trebuie executate mai lungi; forma capătului de bobină se obține după ce s-a introdus bobina pe pol.

Înfășurările indusului mașinilor de curent continuu sînt executate din bobine avînd capetele de bobină simetrice; legăturile la colector se execută însă în general în alt mod decît la mașinile mari, urmărindu-se în special așezarea periilor în spațiul liber dintre poli pentru a rezulta o mașină cît mai compactă. În fig. 7.6, *a* este reprezentată o bobină cu capetele de bobină simetrice, cu legăturile la colector simetrice. Mașina la care înfășurarea este executată cu acest tip de bobine va avea periile așezate pe colector, în dreptul axei polilor.

În fig. 7.6, *b* este reprezentată o altă bobină, avînd de asemenea capetele de bobină simetrice; racordurile la colector sînt simetrice,

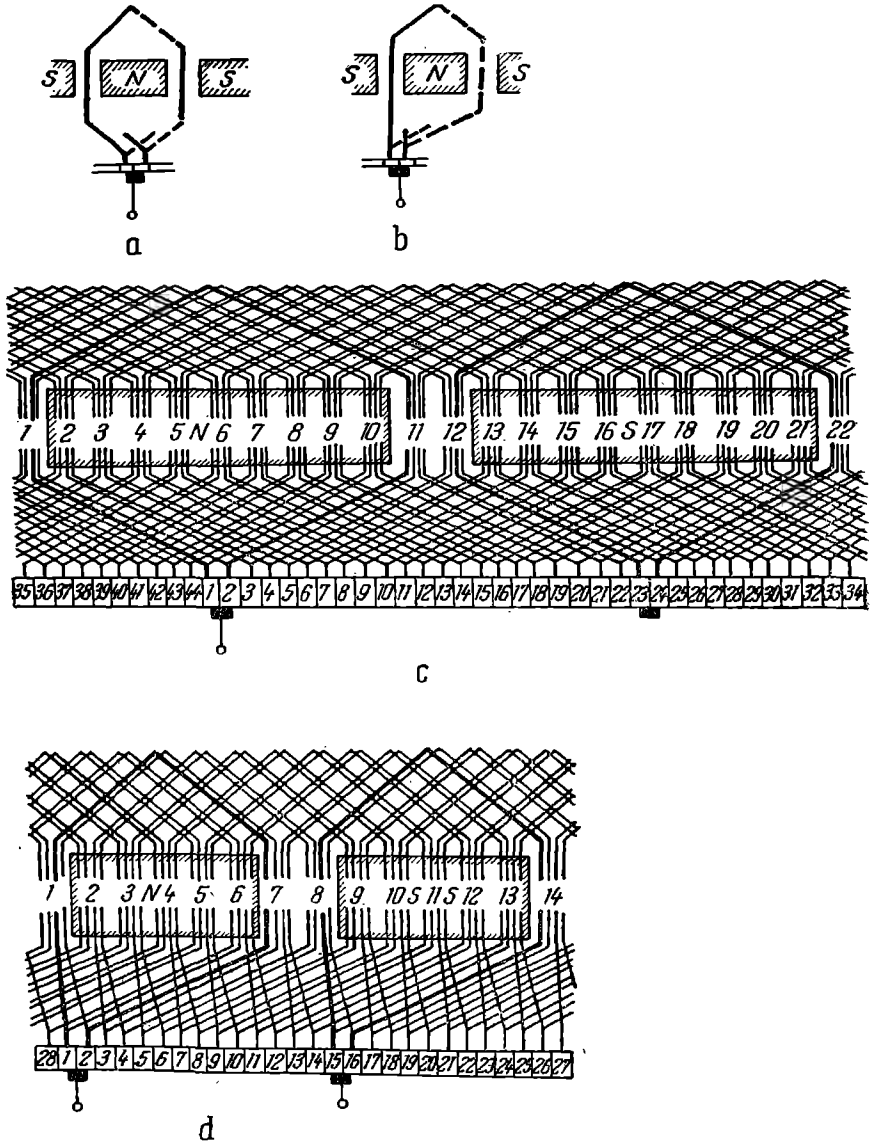


Fig. 7.6. Înfășurări repartizate :

a — bobina cu legături la colector simetrice și periile pe axa polilor; *b* — bobina cu legături la colector nesimetrice și periile pe axa neutră a polilor; *c* — înfășurarea buclată simplă a unui dinam auto având $Z=22$, $K=44$, $2p=2$ (exemplu pentru fig. 7.5, *a*); *d* — înfășurare buclată simplă a unui dinam de motocicletă având: $Z=14$, $K=28$, $2p=2$ (exemplu pentru fig. 7.5, *b*).

astfel încît un capăt al bobinei este lipit la lamela din dreptul crestăturii în care se află una din laturile bobinei.

În acest caz periile se așază în axa neutră a polilor și deci tija cu portperiile poate să ocupe spațiul liber dintre bobinele înfășurării de excitație din stator; prin această soluție înfășurarea își păstrează aceleași caracteristici funcționale. În figura 7.6, *c* și *d* s-au reprezentat scheme ale înfășurărilor executate cu racorduri la colector simetrice și nesimetrice.

7.2.2. Înfășurările mașinilor fără colector

Înfășurările mașinilor mici fără colector se execută în principal după aceleași scheme ca și înfășurările mașinilor mari de curent alternativ. Se întîlnesc însă numeroase înfășurări monofazate, bifazate sau trifazate de construcție specială.

Înfășurări monofazate

Cea mai simplă înfășurare monofazată se obține dintr-o înfășurare trifazată, conectată în stea dacă se reține numai porțiunea de înfășurare cuprinsă între două borne, adică numai înfășurările a două faze. Cum înfășurarea unei faze ocupă 1/3 din numărul de crestături al mașinii, rezultă că înfășurarea monofazată compusă din două faze de înfășurare ocupă 2/3 din numărul total de crestături. Creșterea tensiunii, respectiv a puterii mașinii, cînd s-ar bobina toate crestăturile este relativ mică și nu justifică utilizarea conductorului suplimentar pentru bobinarea completă a mașinii.

În fig. 7.7, *a* este reprezentată schema desfășurată a unei înfășurări trifazate bipolare, avînd $Z=12$ crestături și fiind executată într-un singur strat în coroană. Pe schemă sînt indicate conexiunile necesare pentru a obține o înfășurare monofazată. Înfășurarea se alimentează între bornele U și V, bornele W și Z rămînînd libere. Înfășurarea s-ar putea alimenta și între bornele U și W dacă X este legat cu Z și respectiv între bornele V și W dacă Y este legat cu Z.

De remarcat că tensiunea pe fază la înfășurarea monofazată este de $\sqrt{3}$ ori tensiunea pe fază a înfășurării trifazate; în schimb puterea mașinii este numai de 0,66 din puterea mașinii trifazate. În fig. 7.7, *b* este reprezentată schema de principiu cu legăturile la borne.

Dacă se conectează toate trei fazele așa cum se indică în schema din fig. 7.8, adică fazele U—X, Y—V conectate în serie cu faza Z—W rezultă un consum suplimentar de cupru de 50% și pierderi în înfășurare de 1,50 ori mai mari; în schimb puterea crește numai cu 15%.

Înfășurarea de excitație a selsinelor (înfășurare monofazată de curent alternativ) se poate de asemenea obține dintr-o înfășurare trifazată realizîndu-se în acest fel înfășurări de excitație repartizate. Modul de transformare a înfășurării trifazate în înfășurări monofazate este pus în evidență în fig. 7.9, unde s-a transformat o înfășurare obișnuită (fig. 7.9, *a*) și în două straturi avînd $Z=18$, $2p=2$ și $q=3$ într-o înfășurare monofazată (fig. 7.9, *b*) cu două căi de curent în

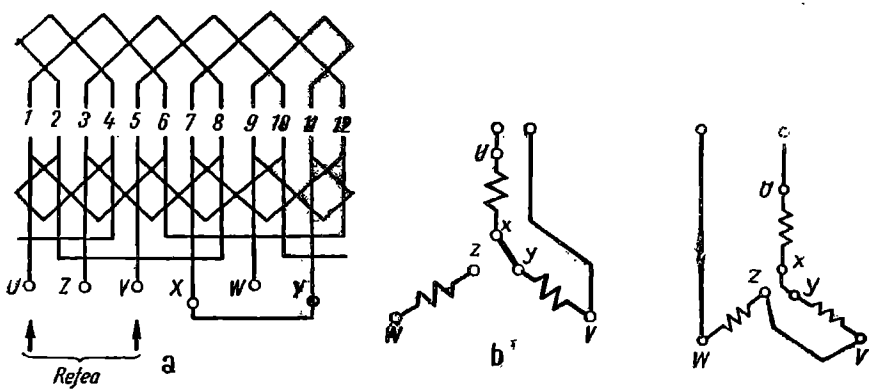


Fig. 7.7. Înfășurare trifazată conectată în schema de înfășurare monofazată:
a — schema desfășurată și legăturile înfășurărilor de fază; *b* — schema de principiu.

Fig. 7.8. Schemă de principiu a unei înfășurări trifazate pentru alimentarea de la o sursă monofazată.

paralel. De observat că înfășurarea de excitație propriu-zisă se obține prin legarea în paralel a înfășurărilor U—X și Z—W, iar înfășurarea V—Y legată în scurtcircuit constituie înfășurarea de amortizare a selsinului.

Se construiesc și înfășurări monofazate destinate exclusiv mașinilor monofazate; asemenea înfășurări se utilizează, de exemplu, la generatoarele sincrone monofazate sau la tahogeneratoarele sincrone. În fig. 7.10 este reprezentată schema desfășurată a unui tahogenerator sincron cu 6 poli pentru $Z=18$ crestături. Înfășurarea a fost repartizată numai în 12 crestături, 6 crestături rămînînd libere (în figură s-au reprezentat numai 17 crestături).

Înfășurări bifazate

O înfășurare bifazată se poate obține dintr-o înfășurare trifazată care are toate capetele înfășurărilor de fază scoase la cutia de borne. Dacă se leagă, de exemplu, bornele X și Y împreună rezultă înfășurările cuprinse între bornele U—V și W—Z, care reprezintă o înfă-

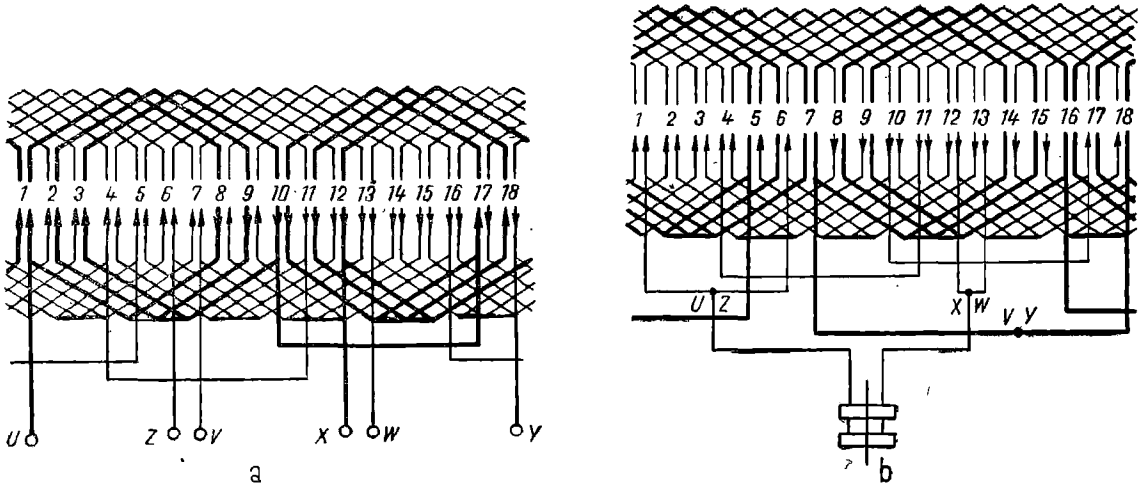


Fig. 7.9 Transformarea înfășurărilor trifazate în înfășurări monofazate pentru excitația selsinelor :
a — schema unei înfășurări trifazate în două straturi avînd $Z=18$, $2p=2$, $y=8$; *b* — schema înfășurării monofazate rezultată din fig. 7.9, *a*.

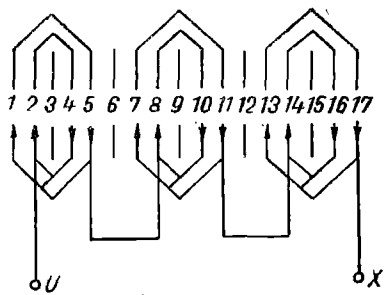


Fig. 7.10. Schema desfășurată a unei înfășurări monofazate avînd $Z=18$, $2p=6$.

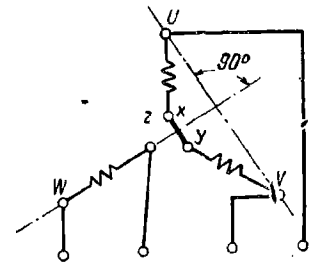


Fig. 7.11. Schema de principiu a unei înfășurări trifazate conectată în schema de înfășurare bifazată.

şurare bifazată. Axele înfăşurărilor obţinute sînt decalate la 90° una faţă de alta (fig. 7.11). De remarcat că în acest caz tensiunile care se pot aplica celor două înfăşurări de fază $U—V$ şi $W—Z$ pot fi diferite; fazei $U—V$ i se poate aplica o tensiune de două ori mai mare decît fazei $W—Z$.

Există însă şi maşini care se construiesc să funcţioneze la început ca maşini bifazate; cele mai importante dintre acestea sînt motoarele monofazate cu fază auxiliară care la pornire funcţionează ca maşini bifazate; altele sînt servomotoarele bifazate cu rotorul sub formă de pahar.

Înfăşurările de fază ale maşinilor bifazate se execută fie cu conductor de secţiune diferită, fie cu numărul de spire diferit, aproximativ în raportul $\frac{1}{3}$; dat fiind rolul lor diferit; una este utilizată ca înfăşurare de sarcină (cea care are volumul de conductor mai mare), iar cealaltă ca înfăşurare de comandă.

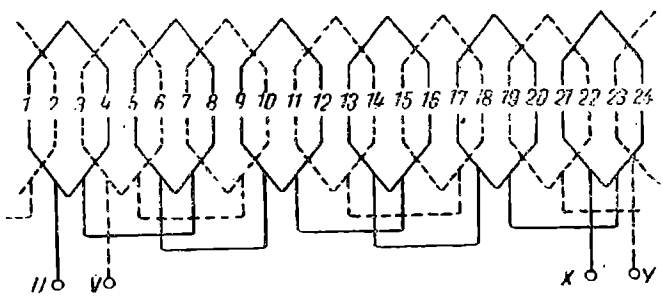


Fig. 7.12. Înfăşurare bifazată deschisă, hexapolară ($2p=6$) avînd $Z=24$, $q=2$, executată într-un strat.

În fig. 7.12 este reprezentată schema desfăşurată a unei înfăşurări bifazate, deschisă, hexapolară, pentru $Z=24$. Numărul de crestături pe pol şi fază este

$$q=\frac{Z}{2mp}=\frac{24}{2\cdot 2\cdot 3}=2.$$

Pasul diametral al înfăşurării este $y=\frac{24}{2p}=\frac{24}{6}=4$; înfăşurarea din fig. 7.12 s-a construit cu pasul scurtat $y=3$, iar deschiderea bobinei este $Y=\frac{3}{4}\tau$. Una dintre faze este desenată cu linie continuă, iar cealaltă cu linie întreruptă.

În fig. 7.13 este reprezentată schema desfășurată a unei înfășurări bifazate închise, executată la fel ca o înfășurare buclată pentru indusul mașinilor de curent continuu și avînd în principal aceleași

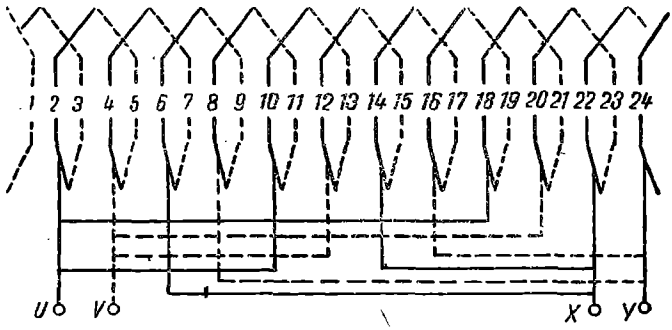


Fig. 7.13. Înfășurare bifazată închisă, hexapolară ($2p=6$) avînd $Z=24$, $q=2$, executată într-un strat.

caracteristici ca prima. De remarcat, însă, că în acest caz ea are trei căi de curent în paralel. O asemenea înfășurare se poate utiliza îndeosebi în cazul curenților mari.

Înfășurări cu faza auxiliară. Dispozitive de conectare și întrerupere

Scheme de înfășurări ale mașinilor monofazate cu fază auxiliară

În cele ce urmează vom prezenta tipurile caracteristice de înfășurări pentru curent monofazat cu fază auxiliară. În execuția acestor înfășurări se folosesc în general grupe de bobine cu bobine concentrice. Dispunerea lor în crestături se face într-un strat, în două straturi sau parțial într-un strat și parțial în două straturi. În părțile frontale capetele bobinelor înfășurării de lucru sau de sarcină se dispun într-un etaj, iar cele ale bobinelor din înfășurarea auxiliară sau de pornire într-un alt etaj, suprapus peste primul.

În fig. 7.14 se poate vedea dispunerea capetelor bobinelor înfășurării de sarcină, executată parțial într-un strat și parțial în două straturi, a unui tip de motor utilizat la mașina de spălat rufe. Înfășurarea auxiliară, suprapusă în părțile frontale peste înfășurarea de sarcină, se poate vedea din fig. 7.15.

Schema desfășurată a înfășurării din fig. 7.15 este reprezentată în fig. 7.16. Înfășurarea de sarcină este desenată cu linie plină și are

extremităţile A şi X, iar înfăşurarea auxiliară, desenată cu linie întreruptă, are extremităţile A' şi X'. Înfăşurarea de sarcină este executată din conductor de cupru izolat cu email, avînd diametrul de 0,55 mm, iar numărul de spire este repartizat pe bobine în cadrul grupelor în felul următor : bobina y are 70 spire, bobina y_1 — 115 spire, iar bobina y_2 — 66 spire.

Corespunzător, se poate identifica înfăşurarea auxiliară, executată cu conductor de cupru emailat avînd diametrul de 0,3 mm, iar bobinele avînd $y' = 66$ spire şi $y_1' = 120$ spire. Numerele diferite de spire ale bobinelor din cadrul grupelor de bobine au fost calculate pentru a se obţine o repartiţie sinusoidală a înfăşurării. Ca urmare a acestui fapt, la stabilirea curentului prin bobine apare în întrefierul maşinii un cîmp aproape sinusoidal. În acest fel cuplurile parazite datorită armonicilor sînt foarte mult reduse şi în consecinţă se reduce în mod corespunzător zgomotul motorului în timpul funcţionării.

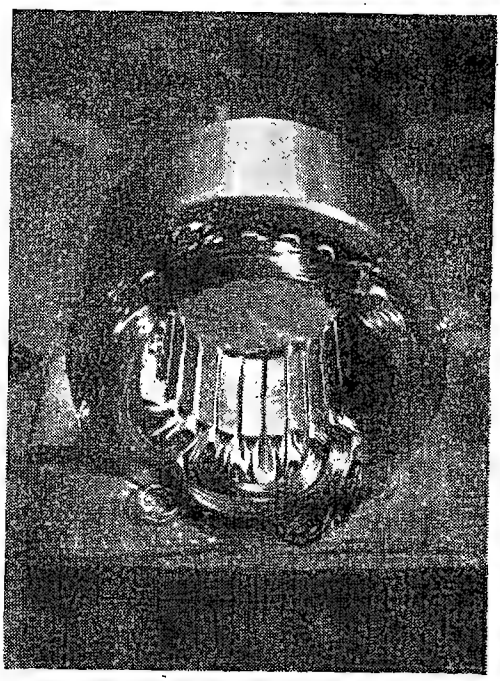


Fig. 7.14. Dispunerea capetelor de bobină în părţile frontale ale înfăşurării de sarcină a unui motor monofazat.

Spre exemplu la o înfăşurare avînd $k_w = 0{,}812$ şi $q = 8$ crestături pe pol, executată cu două crestături centrale rămase libere (fig. 7.17, *a*) se obţine suprimarea totală a armonicilor de ordinul 3 şi 5, iar armonica 7 este redusă la 2,8% din valoarea ei. În această dispunere repartiţia spirelor în cele trei bobine este următoarea : 41,4% spire în bobina y, 29,3% spire în bobina y_1 şi 29,3% spire în bobina y_2.

În fig. 7.18 este reprezentată o înfăşurare monofazată cu fază auxiliară cu repartiţie sinusoidală avînd $q = 8$ şi două crestături centrale libere (pentru înfăşurarea de sarcină) cu repartiţia spirelor în proporţie de 40,5% pentru bobina y, 34,7% pentru bobina y_1 şi 24,8% pentru bobina y_2. În bobinele înfăşurării auxiliare spirele sînt

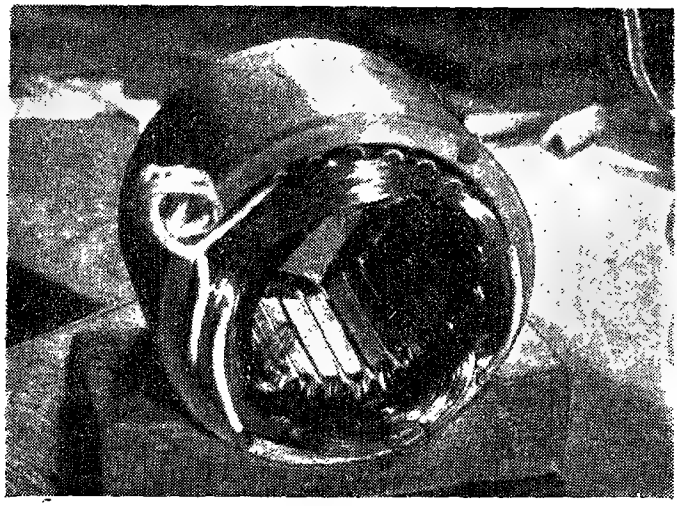


Fig. 7.15. Dispunerea în părţile frontale a înfăşurărilor de sarcină şi auxiliară la motorul monofazat reprezentat în fig. 7.14.

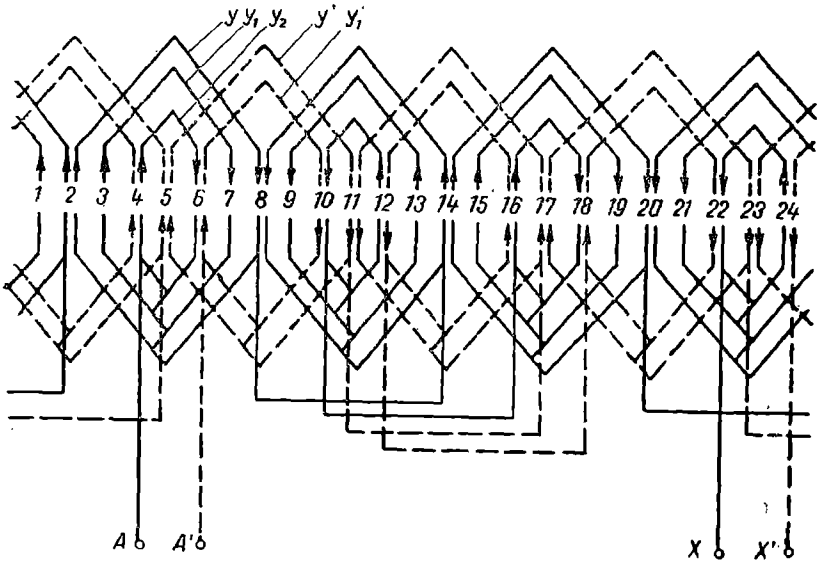


Fig. 7.16. Schema unei înfăşurări monofazate cu fază auxiliară, cu repartiţie sinusoidală, avînd $Z=24$, $2p=4$.

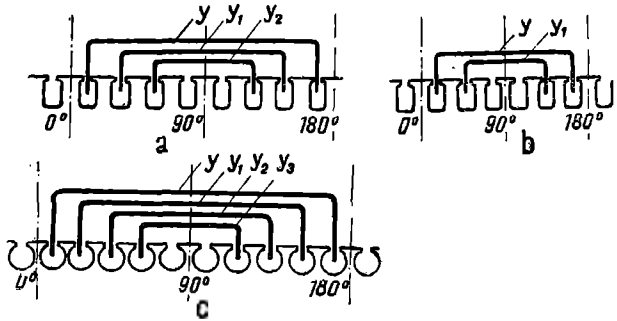


Fig. 7.17. Dispunerea bobinelor într-o grupă de bobine dintr-o înfășurare de sarcină cu repartiție sinusoidală :
a — pentru $q=8$ cu două crestături centrale libere; *b* — pentru $q=6$, cu două crestături centrale libere; *c* — pentru $q=10$ cu două crestături centrale libere.

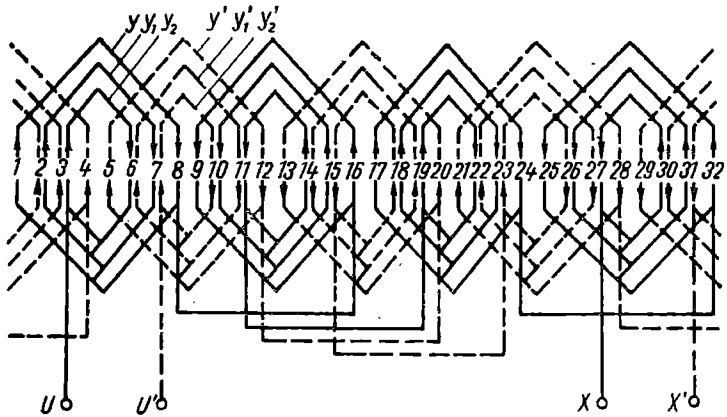


Fig. 7.18. Schema unei înfășurări monofazate cu fază auxiliară, cu repartiție sinusoidală, având $Z=32$, $2p=4$.

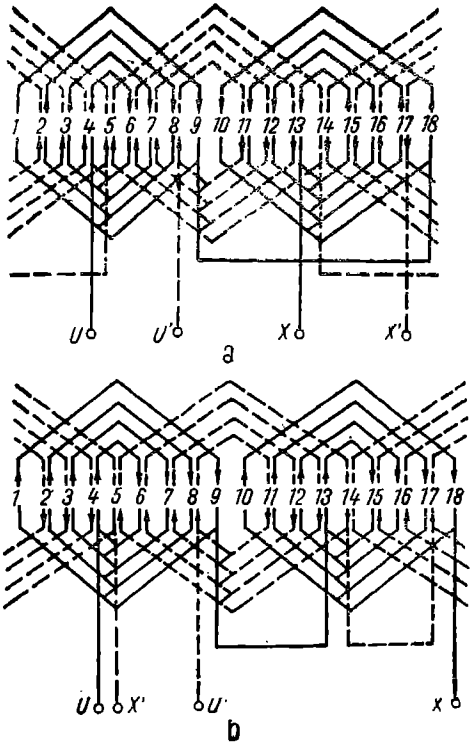
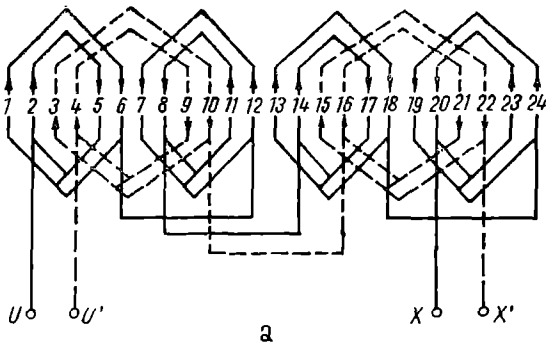
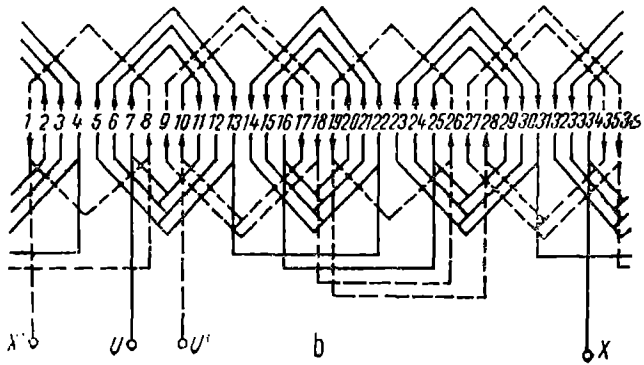


Fig. 7.19. Schema unei înfășurări monofazate cu fază auxiliară, cu repartiție sinusoidală :
a — pentru $Z=18$, $2p=2$; *b* — pentru $Z=18$, $2p=4$





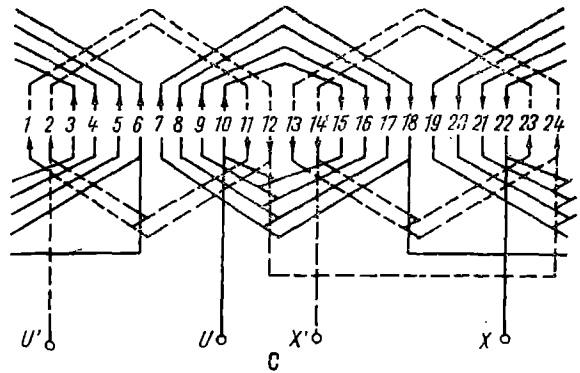


Fig. 7.20. Scheme de înfășurări monofazate cu fază auxiliară, cu repartiție sinusoidală executate într-un strat :

a — pentru $Z=24$, $2p=4$; *b* — pentru $Z=36$, $2p=4$; *c* — pentru $Z=24$, $2p=2$.

repartizate astfel : 42,50% în bobina y', 35% în bobina y_1 și 22,50% în bobina y_2'.

Repartiția sinusoidală în cazul unei înfășurări avînd $q=9$, cu o crestătură centrală liberă la un factor de înfășurare $k_w = 0{,}793$, este următoarea : 34,75% spire în bobina y, 30,55% spire în bobina y_1, 22,65% spire în bobina y_2 și 12,05% spire în bobina y_3.

Alte înfășurări monofazate cu faza auxiliară executată parțial într-un strat și parțial în două straturi sînt reprezentate în fig. 7.19. De observat că înfășurarea tetrapolară reprezentată în fig. 7.19, *b* se obține din înfășurarea din fig. 7.19, *a* prin legarea grupelor de bobine în ordinea sfîrșit cu început în loc de sfîrșit cu sfîrșit.

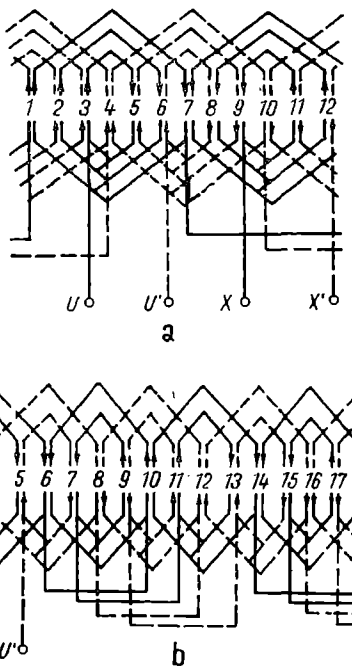


Fig. 7.21. Scheme de înfășurări monofazate cu fază auxiliară, cu repartiție sinusoidală, executate în două straturi : *a* — pentru $Z=12$, $2p=2$; *b* — pentru $Z=24$, $2p=6$.

Înfășurările monofazate cu fază auxiliară, cu repartiție sinusoidală se pot executa într-un singur strat. Astfel de înfășurări sînt reprezentate în fig. 7.20. În fig. 7.21 sînt reprezentate înfășurări cu fază auxiliară, executate în două straturi.

În fig. 7.22, *a* se poate vedea dispozitivul centrifugal cu care este echipat rotorul unui motor monofazat cu fază auxiliară. În serie cu înfășurarea fazei auxiliare sînt conectate cele două contacte (fig. 7.22, *b*) fixe față de stator și acționate de dispozitivul centrifugal ; cînd motorul este în repaus, contactele sînt închise. După pornirea motorului, pe măsură ce rotorul se accelerează, dispozitivul centrifugal acționează, iar discul circular care menținea contactele închise, în stare de repaus, se îndepărtează de acestea și ca urmare contactele se deschid (fig. 7.22, *c*). O dată cu deschiderea acestor contacte, înfășurarea auxiliară este scoasă din circuit ea avînd numai rolul de a asigura pornirea. În fig. 7.22, *d* se pot vedea contactele folosite pentru faza auxiliară și modul de consolidare a suporturilor acestora, de scutul mașinii. Schemele de conexiuni ale înfășurărilor motorului înainte de pornire și după pornire sînt reprezentate în fig. 7.23 și 7.24.

În ultima schemă, la închiderea întrerupătorului *K* se stabilește un curent relativ mare prin înfășurarea de sarcină înseriată cu bobina electromagnetului *ab*. Ca urmare a acestui fapt armătura articulată în *0* este atrasă și astfel se închid contactele c, *d* care introduc în circuit și înfășurarea de pornire. Motorul pornește și pe măsură ce rotorul se accelerează, curentul care străbate bobina electromagnetului scade și, ca urmare contactele c, *d* se deschid sub acțiunea resortului *r* deconectînd înfășurarea auxiliară din circuit. De obicei, electromagnetul cu bobina *ab* se montează chiar pe motor pentru a fi ușor accesibil.

La alimentarea fazei auxiliare de la aceeași sursă ca fază principală, se utilizează condensatoare conectate în serie cu faza auxiliară. Utilizînd condensatoare pentru defazarea tensiunii de alimentare a fazei auxiliare, cuplul de pornire crește ; dacă circuitul fazei auxiliare nu este întrerupt după pornire, condensatorul are și rolul de a îmbunătăți factorul de putere al acestor motoare.

Schema cea mai răspîndită pentru motoarele monofazate cu condensator conectat în faza auxiliară este reprezentată în fig. 7.25. La pornire, condensatorul C_1 este conectat în paralel cu condensatorul C, cu ajutorul comutatorului K_1 aflat pe poziția *1*. După pornire condensatorul C_1 poate fi scos din circuit (comutatorul K_1 pe poziția 0) sau poate fi pus în paralel cu schema motorului între bornele U'—X'—X, (comutatorul K_1 pe poziția *2*). Condensatorul C rămîne în circuit în tot timpul funcționării.

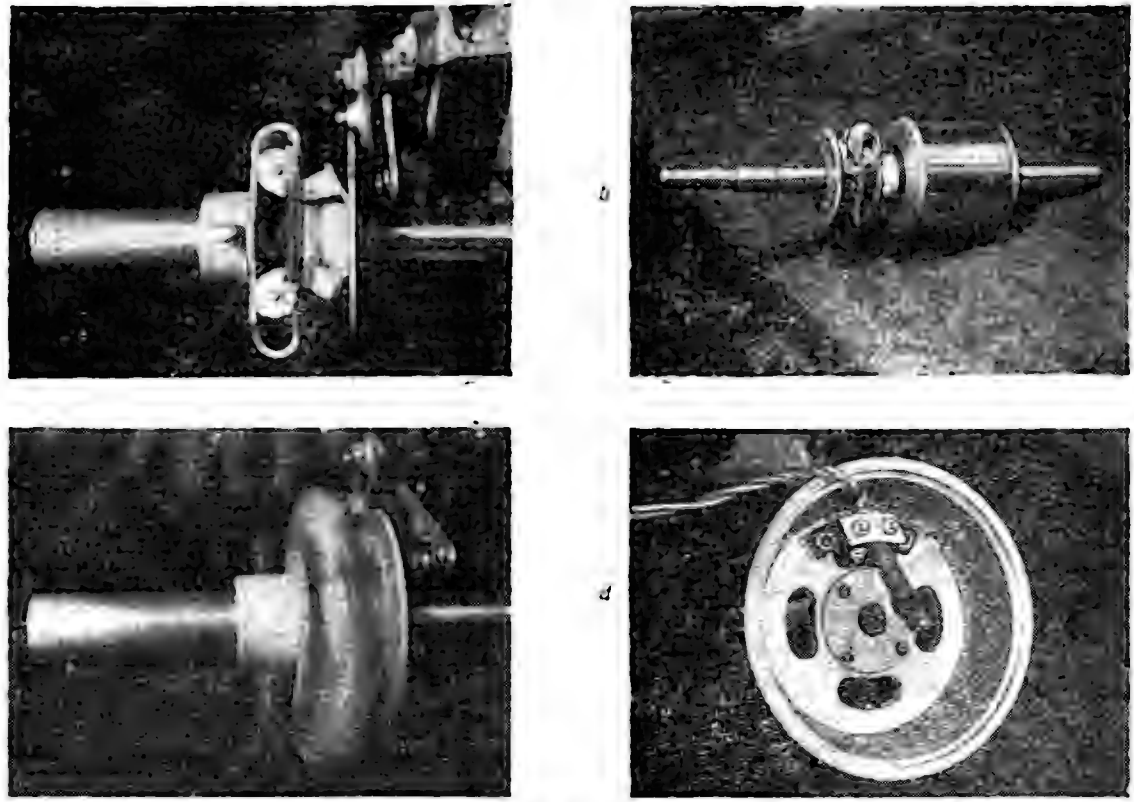


Fig. 7.22. Elemente constructive componente ale unui motor monofazat cu fază auxiliară și dispozitiv centrifugal :

a — rotorul și dispozitivul centrifugal; b — dispozitivul centrifugal, cînd rotorul stă pe loc (contacte închise), c — dispozitivul centrifugal, cînd rotorul se află în mișcare de rotație (contacte deschise); d — contactele folosite pentru faza auxiliară; consolidarea suporturilor lor de scutul motorului.

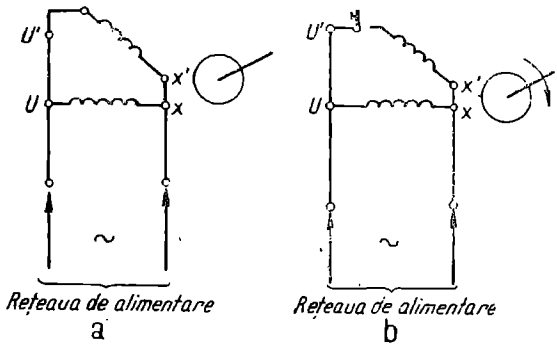


Fig. 7.23. Schema electrică de conexiune a înfășurărilor motorului monofazat cu faza auxiliară și dispozitiv centrifugal :
a — înainte de pornire; *b* — după pornire (în funcționare).

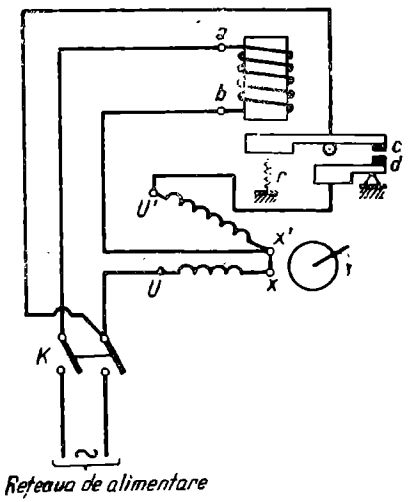


Fig. 7.24. Schema electrică de principiu a motorului monofazat cu fază auxiliară cu dispozitiv electromagnetic.

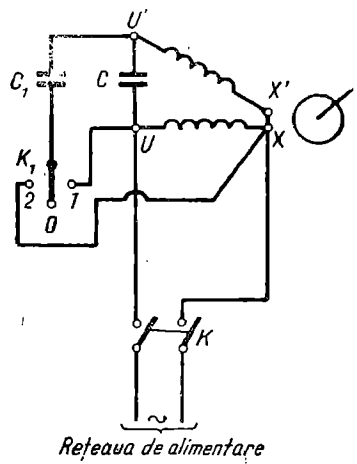


Fig. 7.25. Schema electrică de principiu a unui motor monofazat cu faza auxiliară, cu condensatoare

În practică se întîlnesc adesea motoare monofazate cu fază auxiliară obținute din motoare trifazate obișnuite. Schemele electrice principiale ale acestor motoare sînt reprezentate în fig. 7.26. Notațiile de pe scheme corespund extremităților înfășurărilor trifazate : *A*—*X* pentru înfășurarea fazei *1*, *B*—*Y* pentru înfășurarea fazei *2* și *C*—*Z* pentru înfășurarea fazei *3* (v. cap. 5). Condensatoarele reprezentate în diferitele scheme (fig. 26, *a*, *b*, *c*, *d*) sînt conectate în circuit în tot timpul funcționării motorului.

Înfășurare monofazată cu schimbarea numărului de poli

O înfășurare pentru un motor asincron monofazat prevăzut cu schimbarea numărului de poli, este reprezentată în fig. 7.27. Înfășurarea principală, reprezentată în figură prin linie continuă, este realizată din două conductoare bobinate în paralel, însă izolate între ele. La comutatorul *K* se scot patru capete de la înfășurarea principală. Înfășurarea auxiliară este reprezentată în figură cu linie întreruptă și conectată la comutatorul *K* printr-un întreruptor centrifugal *Ic*.

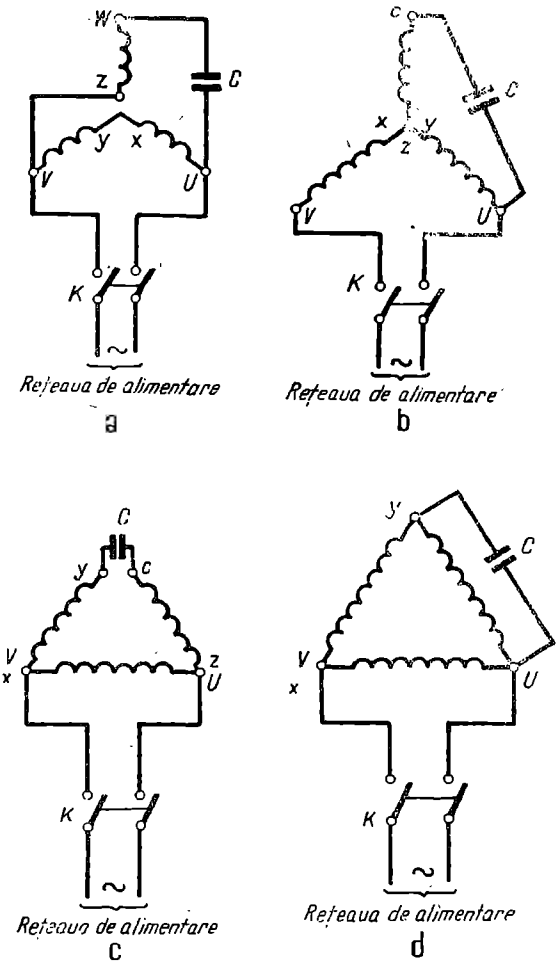


Fig. 7.26. Schemele electrice principiale ale înfășurărilor motoarelor monofazate cu fază auxiliară și cu condensatoare :

a și *b* — rezultate din înfășurări trifazate conectate în stea; *c* și *d* — rezultate din înfășurări trifazate conectate în triunghi.

Așezînd comutatorul K pe bornele *1* și *3*, înfășurarea principală este tetrapolară; cînd comutatorul K este așezat pe bornele *2* și *4*, înfășurarea principală este bipolară. Înfășurarea auxiliară se comportă în parte ca o înfășurare bipolară și în parte ca înfășurare tetrapolară.

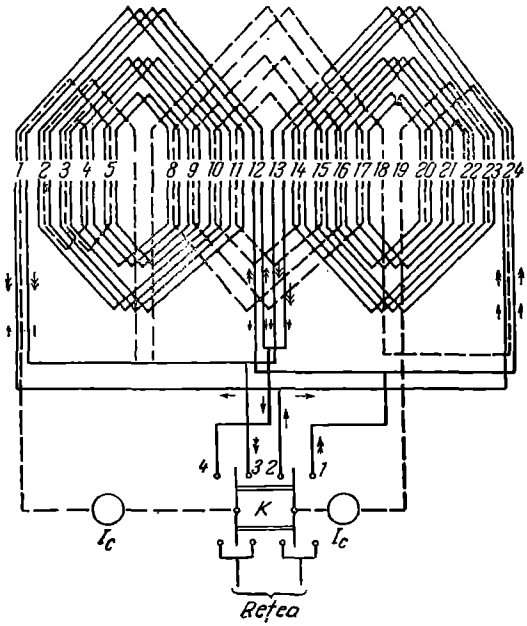


Fig. 7.27. Înfășurare monofazată, cu fază auxiliară prevăzută cu schimbarea numărului de poli în raportul 2=1.
K — comutator; *Ic* — întreruptor centrifugal.

Avantajul acestei scheme constă în faptul că printr-o schemă simplă de conexiuni la borne și cu un număr minim de capete de înfășurare se realizează schimbarea numărului de poli, menținînd același număr de spire pe calea de curent.

Înfășurări sinusoidale trifazate

Înfășurările cu repartiția sinusoidală a numărului de spire au fost utilizate la motoarele asincrone și sincrone de puteri mici, în vederea micșorării armonicilor cîmpului magnetic. O înfășurare sinusoidală specială a cărei descriere se prezintă mai jos s-a executat la generatoarele sincrone de tensiune sinusoidală folosite în laboratoarele institutelor de cercetări și ale fabricilor constructoare. Concepția și realizarea acestui tip de înfășurare la generatoarele sincrone aparține inginerului M. Bîrgăuanu.

În fig. 7.28 este reprezentată schema desfășurată a unei asemenea înfășurări pentru un motor sincron bipolar. Înfășurarea trifazată are $Z=12$ crestături, pasul fiind $y=6$, și este executată în trei straturi.

Straturile inferior și din mijloc aparțin înfășurării în două straturi executată cu număr de spire diferit de bobină, fiind reprezentată în fig. 7.28, *a*; dispunerea în crestături a laturilor de bobine este reprezentată în fig. 7.28, *b*, iar așezarea laturilor de bobină în crestătura *1* este reprezentată în fig. 7.28, *c*.

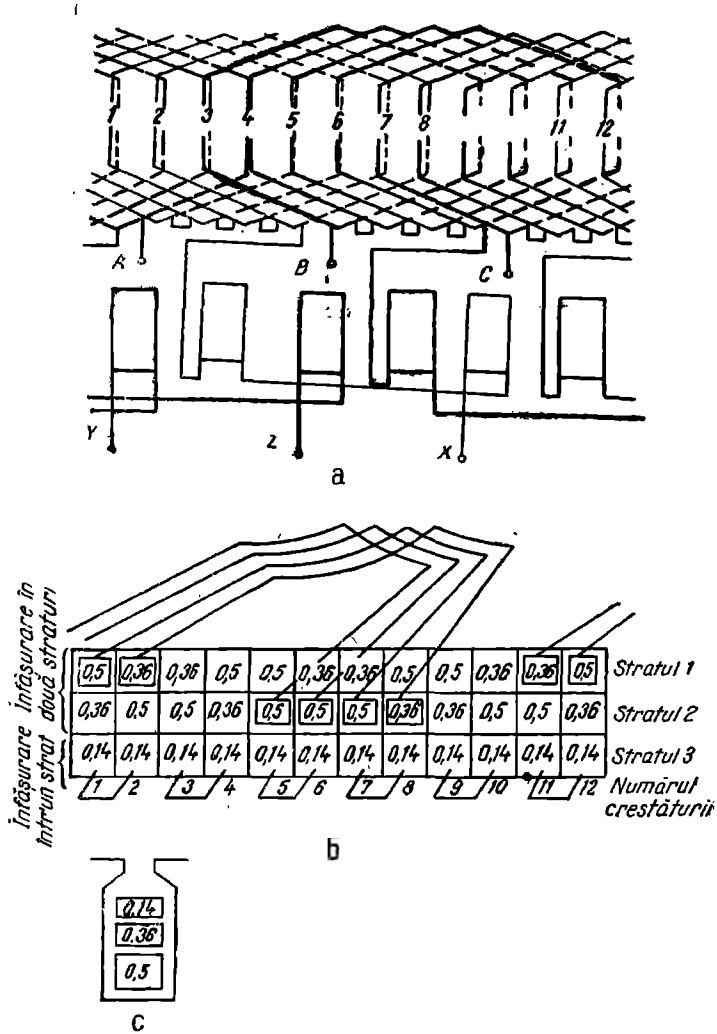


Fig. 7.28. Înfășurare trifazată cu repartiție sinusoidală avînd trei mănunchiuri pe crestătură :

a — schema desfășurată; *b* — dispunerea laturilor de bobine în crestături; *c* — așezarea laturilor de bobine în crestătura *1*.

Din fig. 7.28, *b* în care s-a reprezentat desfășurat repartiția spirelor înfășurării, rezultă că bobinele care compun înfășurarea de fază au numere diferite de spire și sînt astfel dispuse încît se repartizează în crestături după o lege sinusoidală, la fel ca înfășurările monofazate cu fază auxiliară cu repartiție sinusoidală (v. fig. 7.16—7.21). De observat că la înfășurările sinusoidale trifazate se dispun în toate crestăturile același număr de conductoare, adică toate crestăturile au același factor de umplere, spre deosebire de înfășurările monofazate cu fază auxiliară și repartiție sinusoidală la care în crestături sînt numere diferite de conductoare.

Înfășurările de fază ale înfășurărilor sinusoidale trifazate sînt identice și cuprind același număr de bobine (bobine diferite între ele ca deschidere și număr de spire (fig. 7.28, *a*, sus și jos). Eficacitatea acestor înfășurări este cu atît mai mare cu cît numărul de crestături pe pol (care este egal cu *mg*) este mai mare, repartiția lor apropiindu-se în acest fel de cea sinusoidală.

7.3. ÎNFĂȘURĂRI IMPRIMATE

Reducerea costului de fabricație la aparatele de radio și televizoare prin utilizarea circuitelor imprimate a condus la extinderea acestor circuite și la mașinile electrice mici, urmărindu-se și în acest caz reducerea costului mașinii.

Rezultatele pozitive obținute la experimentarea unor astfel de mașini permit să se întrevadă aplicații interesante, în viitor, și ale acestor înfășurări.

În fig. 7.29 este reprezentată schița unei mașini de curent continuu plană cu înfășurarea imprimată. În legenda figurii se pot identifica elementele constructive ale acesteia.

Mașina nu mai are crestături ; înfășurarea în acest caz este situată direct în întrefierul mașinii. Pentru simplitate, mașina se execută cu întrefierul plan, rotorul căpătînd astfel forma unui disc. De fapt rotorul constă dintr-un disc sau alt material izolant, avînd pe ambele fețe imprimată înfășurarea buclată sau ondulată.

În fig. 7.30 sînt reprezentate grafic o înfășurare buclată (fig. 7.30, *a*) și una ondulată (fig. 7.30, *b*) de curent continuu, de tipul înfășurărilor imprimate. De remarcat că în acest caz înfășurarea are o singură bobină pe crestătură formată dintr-o singură spiră. Laturile active ale spirei sînt notate cu *1—1'*, părțile frontale ale spirelor — cu *3—3'*, iar extremitățile spirei (care îndeplinesc și rolul lamelor

de colector) — cu 2—2′. Discul izolant rotoric reprezintă în acest caz izolația dintre cele două straturi ale înfășurării și îndeplinește și rolul de suport al înfășurării. Unul dintre straturile înfășurării este așezat pe o parte a discului, iar celălalt strat pe partea cealaltă ; legătura dintre cele două conductoare ale spirei se face pe partea exterioară

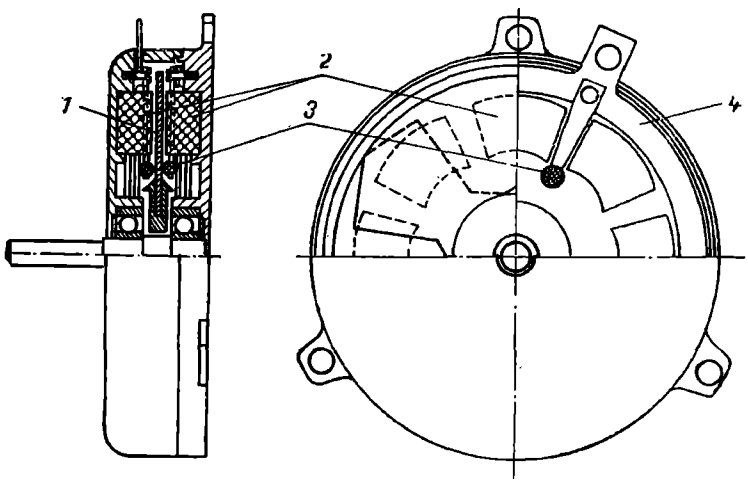


Fig. 7.29. Schița unei mașini de curent continuu cu înfășurarea imprimată :
1 — discul rotor cu bobinaj imprimat; *2* — polii din magneți sinterizați; *3* — perii de grafit; *4* — inel de legătură între portperii.

a discului și respectiv pe partea interioară dinspre centrul discului ; legăturile din interior îndeplinesc și rolul de lamele de colector pe care calcă periile colectoare.

Înfășurarea se poate executa în două feluri :

— în primul caz se depune un strat conductor din grafit sau din argint în stare coloidală, prin presare sau prin imprimare pe fundul canalelor executate în discul izolant, de o parte și de alta a acestuia. Stratul conductor poate fi aplicat o dată cu imprimarea discului. Umplerea canalului se face prin depunerea cuprului în baie electrolitică ;

— în al doilea caz se procedează astfel : pe fiecare față a discului se lipește, cu o substanță izolantă, cîte o foaie de cupru (avînd grosimea de cîteva zecimi de milimetru), se acoperă apoi suprafața liberă a cuprului cu lac de bachelită polimerizat parțial. Pe suprafața liberă

se trasează, prin zgîriere, „izolația" dintre conductoare. Cuprul dezizolat se atacă apoi cu acid ortofosforic în baie electrolitică ; după aceea se execută „lipiturile" cu cositor sau pe cale mecanică la capetele conductoarelor.

Caracteristic pentru aceste înfășurări sînt următoarele :

— permit densități mari de curent (pînă la 100 A/mm^2) ;

— se construiesc pentru tensiuni relativ joase, din cauza numărului relativ mic de conductoare ale înfășurării.

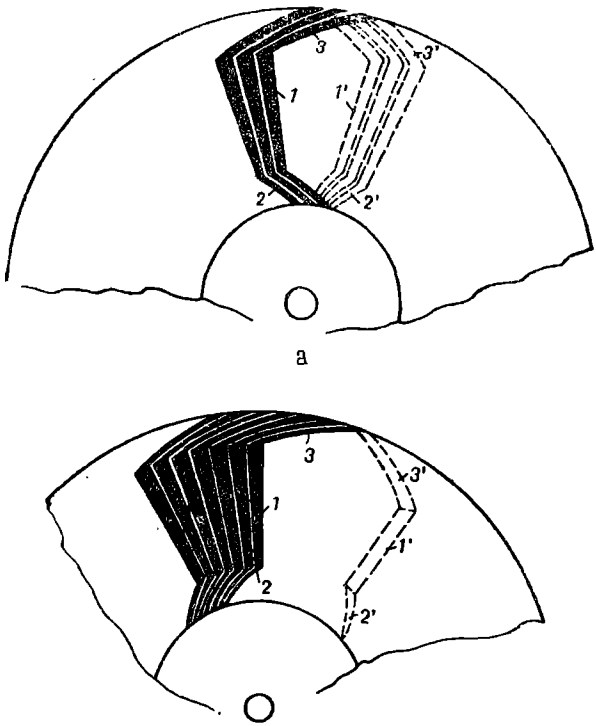


Fig. 7.30. Porțiune din schema desfășurată a unei porțiuni de înfășurare imprimată :
a — înfășurare buclată; *b* — înfășurare ondulată.

Asemenea înfășurări se pot construi și pentru mașinile de curent alternativ, tehnologia rămînînd aceeași. Și în acest caz se trece de la mașinile cilindrice la mașinile plane pentru a simplifica la maximum operațiile de execuție.

8. Elementele constructive ale circuitului înfășurărilor mașinilor electrice

8.1. ELEMENTELE AUXILIARE ALE CIRCUITULUI ELECTRIC

Circuitul electric al înfășurărilor mașinilor electrice este alcătuit din înfășurarea propriu-zisă și dintr-o serie de piese din materiale conducătoare, cu ajutorul cărora se face legătura electrică între înfășurare și borne.

Extremitățile înfășurărilor statorice se leagă la borne prin conductoare de legătură (cabluri de legătură sau bare de legătură), așa cum este reprezentat în fig. 8.1. În fig. 8.2 sînt reprezentate elementele componente ale circuitului unei înfășurări de excitație a unei mașini de curent continuu.

În cazul înfășurărilor așezate pe rotoare se întîlnesc în plus elementele de contact, avînd o parte situată pe rotor și mișcîndu-se o dată cu acesta (colectorul la înfășurările de tip indus de curent continuu și inelele de contact la înfășurările de tip curent alternativ) și o parte fixă (periile colectoare) montată pe statorul mașinii, așa cum este reprezentat în fig. 8.3 pentru o înfășurare de curent alternativ trifazată, așezată pe rotor.

Din examinarea acestor figuri rezultă că circuitele înfășurărilor au elemente comune. În esență, ele se compun din următoarele :

— înfășurarea propriu-zisă ;

— conductoarele de legătură între capetele înfășurării și conductoarele de legătură la borne ;

— colectorul sau inelele de contact și periile, la înfășurările așezate pe rotor ;

— bornele montate pe placa de borne.

Circuitul înfășurărilor în colivie ale motoarelor asincrone, ca și acelea ale celorlalte tipuri de înfășurări în scurtcircuit (înfășurări de pornire, înfășurări de amortizare), se compun din barele conductoare introduse în crestăturile miezului magnetic și inelele de scurtcircuitare care leagă barele între ele, așa cum este reprezentat în fig. 8.4.

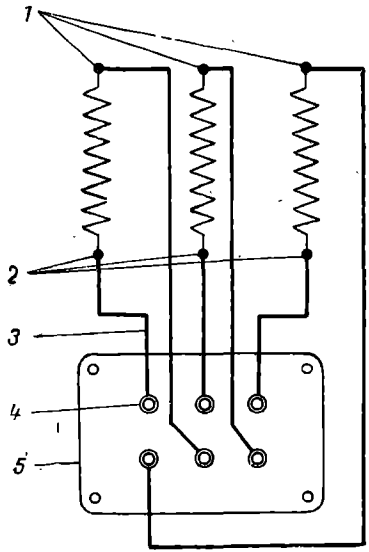


Fig. 8.1. Elementele componente ale circuitului unei înfășurări de curent alternativ trifazată statorică :

1, 2 — capetele înfășurării; *3* — conductoare de conexiune la borne; *4* — bornă; *5* — placa de borne.

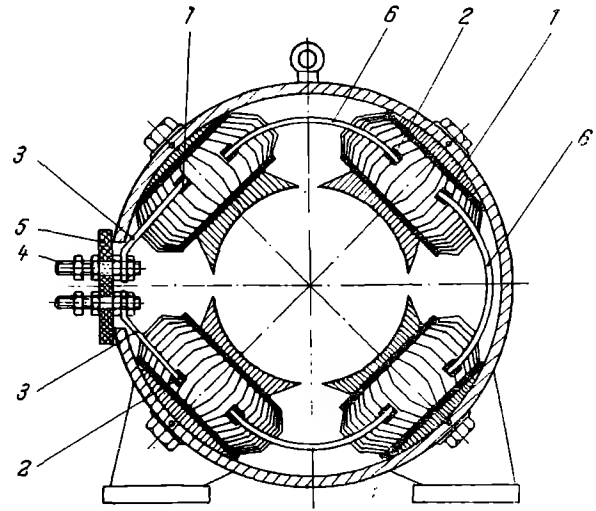
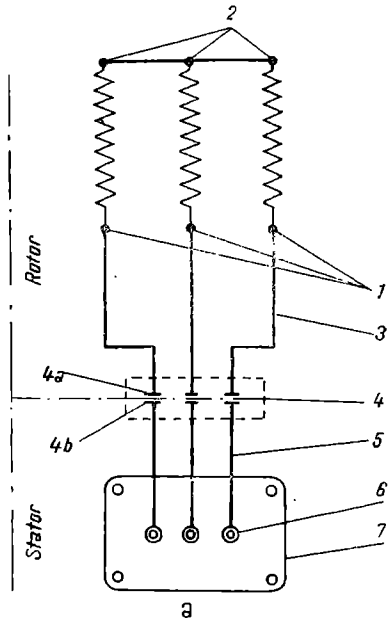


Fig. 8.2. Elementele componente ale circuitului unei înfășurări de excitație a unei mașini de curent continuu :

1, 2 — capetele înfășurării; *3* — conductoare de conexiune; *4* — bornă; *5* — placă de borne; *6* — conductoare de conexiune a bobinelor polare.



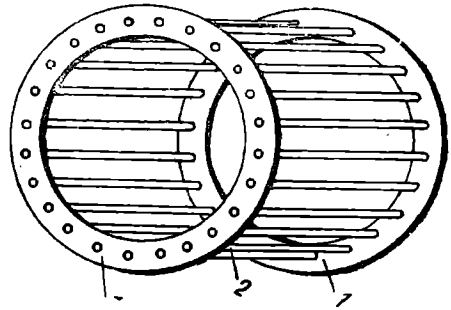


Fig. 8.4. Elementele componente ale circuitului înfășurării în colivie a rotoarelor motoarelor asincrone :

1 — inele de scurtcircuitare; 2 — bară.

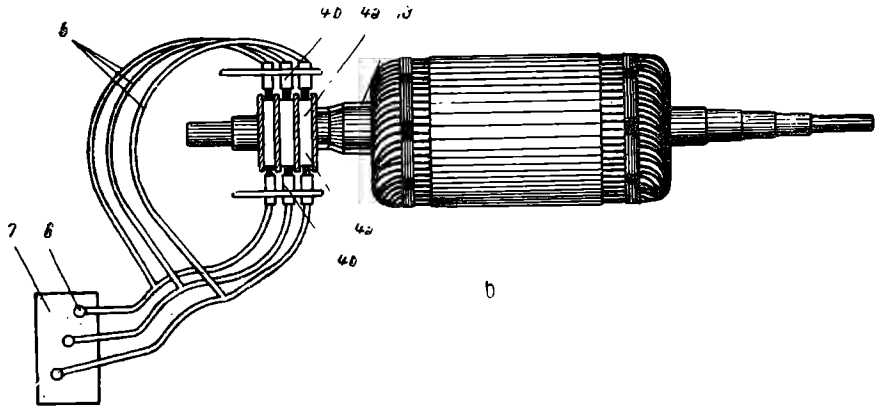


Fig. 8.3. Elementele componente ale circuitului unei înfășurări de curent alternativ trifazat așezată pe rotorul unei mașini asincrone :

a — schema electrică; *b* — vedere; *1, 2* — bornele înfășurării fazelor; *3* — conductoare de legătură la inelele de contact; *4a* — inelele de contact; *4b* — periile colectoare; *5* — conductoare de conexiune la borne; *6* — borne; *7* — placă de borne.

8.2. CONDUCTOARELE DE LEGĂTURĂ

Conductoarele de legătură servesc la conectarea între ele a bobinelor înfășurărilor atît în vederea realizării schemei înfășurării, cît și pentru legarea înfășurării la borne.

Conductoarele de legătură dintre secțiunile înfășurării se aleg corespunzător porțiunii din înfășurare în care sînt utilizate.

Astfel, pentru legături în cadrul aceleiași căi de curent se folosesc conductoare avînd aceeași secțiune ca cele utilizate pentru confecționarea înfășurării. În multe cazuri (în special în cazul mașinilor de tensiune joasă și de putere mică ale căror înfășurări sînt executate din conductor rotund), pentru executarea acestor legături se folosesc capetele secțiunilor de înfășurare (ale bobinelor) care se lasă ceva mai lungi ; operația de legare constă din lipirea sau sudarea acestor capete între ele potrivit schemei de conexiuni.

În tabela 8.1 sînt date principalele dimensiuni ale conductoarelor de conexiune cu izolație din cauciuc cloropren, cauciuc butil și cau-

Tabela 8.1

Dimensiunile principale ale conductorului de conexiuni în fabricație la FCME pentru mașinile electrice

Nr. crt	Secțiunea nominală mm²	Grosimea radială a izolației mm	Diametrul exterior al conductorului mm	Masa pe unitatea de lungime kg/km	Caietul de sarcini nr.
	1. *Conductorul cu izolație din cauciuc cloropren sau butilic*				
1.1	4	1,0	6,8	100	
1.2	6	1,0	7,6	130	
1.3	10	1,2	9,6	190	
1.4	16	1,2	10,8	260	
1.5	25	1,4	13,7	380	2034-62
1.6	35	1,4	14,3	500	
1.7	50	1,6	16,3	700	
1.8	70	1,6	18,4	920	
1.9	95	1,8	22,2	1230	
	2. *Conductoare cu izolație din cauciuc siliconic (Pff Si)*				
2.1	0,75	0,60	2,50	29	
2.2	1,00	0,60	2,70	31	
2.3	1,50	0,85	3,30	35	
2.4	2,50	1,00	4,10	55	2033-61
2.5	4,00	1,00	5,00	75	
2.6	6,00	1,20	6,00	100	
2.7	10,00	1,45	7,70	150	

ciuc siliconic ce se produc la FCME pentru utilizare în construcția mașinilor electrice.

Pentru executarea legăturilor între căile de curent (cînd numărul acestora este mai mare decît două) și pentru realizarea legăturilor la borne, se folosesc conductoare de secțiune mărită, deoarece la înfășurările cu mai multe căi de curent în paralel, curentul care circulă prin conductoarele de legătură este mai mare decît acela care străbate fiecare cale de curent în parte.

În cazul mașinilor de joasă tensiune, conductoarele de legătură la borne se realizează din cabluri flexibile cu izolație de cauciuc și țesătură impregnată, sau din cablu foarte flexibil din liță de cupru cu izolație de cauciuc și textilă.

Înfășurările de curenți mari, cum sînt înfășurările de excitație serie și ale polilor auxiliari la mașinile de curent continuu, se racordează la borne prin conductoare bară, izolate manual după fasonare.

Legătura între înfășurare și conductoarele de legătură se realizează prin sudare electrică, prin lipire, prin nituire sau prin șuruburi, în funcție de secțiunea conductoarelor și de construcția înfășurării. În fig. 8.5 sînt reprezentate tipurile principale de legături.

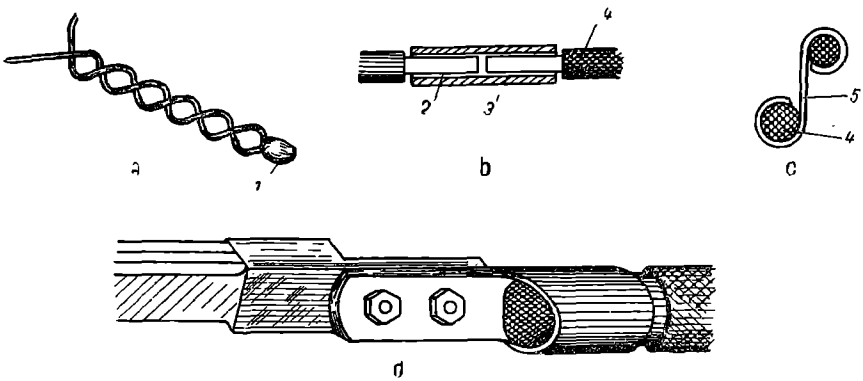


Fig. 8.5. Tipuri de legături între înfășurări și conductoare de legături :
a — prin sudură; *b* și *c* — prin lipire; *d* — prin șuruburi; *1* — sudură; *2* — cositor; *3* — papuc; *4* — conductor de legătură; *5* — clemă.

Izolația legăturilor la borne și a conductoarelor de legătură între bobine, căi de curent etc. se alege în funcție de dimensiunea conductoarelor, de tensiunea de serviciu și de clasa de izolație a înfășurării respective.

8.3. BORNELE ŞI PLACA DE BORNE

Bornele sînt piesele de legătură dintre circuitul electric al maşinii şi reţeaua exterioară maşinii.

Bornele se montează în marea majoritate a cazurilor pe o placă comună, denumită placă de borne. În cazul maşinilor electrice de tensiune joasă (pînă la 500 V) placa de borne se realizează dintr-un material electroizolant cu caracteristici mecanice superioare (pertinax, sticlotextolit, materiale presate, porţelan).

Montarea bornelor pe placa de borne se face de obicei prin strîngerea între piuliţe de ambele părţi ale plăcii de borne sau o dată cu presarea materialului (la plăcile din materiale presate). În fig. 8.6, 8.7 şi 8.8 sînt reprezentate unele tipuri de borne şi modul de fixare a bornelor pe placă.

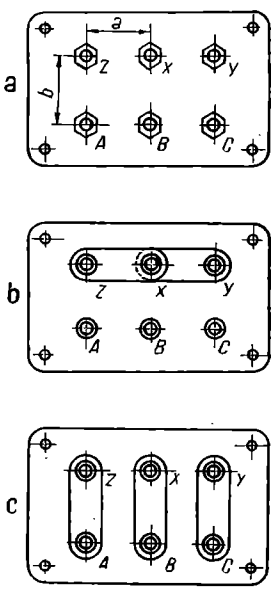


Fig. 8.6. Placa de borne a unei maşini de curent alternativ trifazată (*a*), cu schema de conexiuni stea (*b*) şi triunghi (*c*).

Bornele se confecţionează de preferinţă din alamă sau bronz.

De asemenea piuliţele şi şaibele de strîngere se execută din alamă.

Montarea bornelor pe plăcile de borne se face la distanţe care să asigure izolaţia corespunzătoare tensiunii electrice de încercare a ansamblului. Distanţa izolantă dintre borne se consideră de-a lungul suprafeţei plăcii de borne prin aer între borne, considerînd papucii cablurilor de legătură montaţi. În STAS 243-60 sînt indicate dimensiunile papucilor de cablu cu ureche închisă (tip A) şi cu ureche deschisă (tip B). La stabilirea distanţelor *a* şi *b* trebuie de asemenea să se ţină seama de legăturile care se pot face la placa de borne cu punţi de legătură, cum, de exemplu, este situaţia arătată în fig. 8.6, *b* şi c pentru ca aceleaşi punţi să poată fi folosite la realizarea atît a conexiunii stea, cît şi a conexiunii triunghi, la o înfăşurare trifazată (cînd $a=b$). Aşa cum este arătat în fig. 8.9 pentru o maşină de curent continuu şi în fig. 8.10 pentru o maşină sincronă cu excitatoare, legăturile înfăşurărilor la placa de borne se fac după o schemă de conexiuni a maşinii, bornele fiind marcate corespunzător.

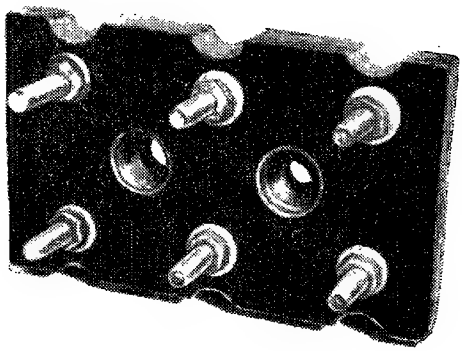


Fig. 8.7. Placă de borne pentru mașini de joasă tensiune.

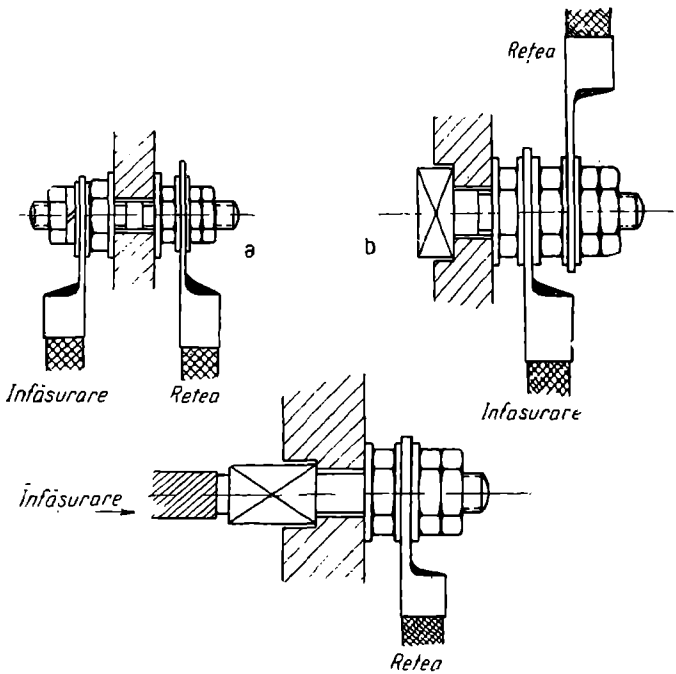


Fig. 8.8. Moduri de fixare a bornelor mașinilor electrice de joasă tensiune la placa de borne și de executare a legăturilor :

a — strîngere prin șurub și piuliță, legăturile de ambele părți; *b* — bornă.

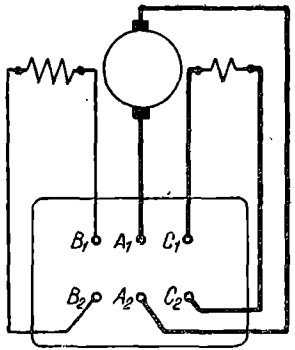


Fig. 8.9. Legăturile la placa de borne la o mașină de curent continuu compund.

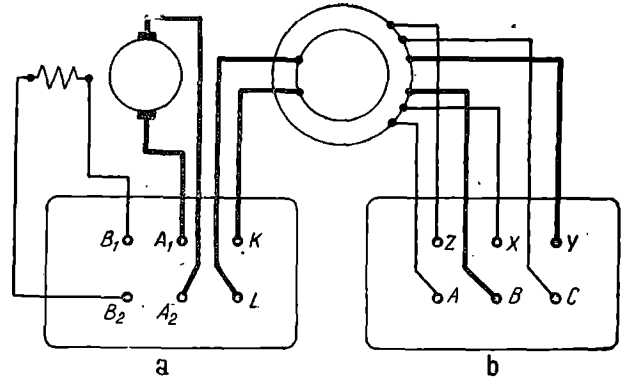


Fig. 8.10. Legăturile la plăcile de borne la o mașină sincronă cu excitatoare proprie :

a — placa de borne a excitatoarei cu legăturile la excitatoare și la înfășurarea de excitație; *b* — placa de borne a înfășurării de curent alternativ a mașinii sincrone.

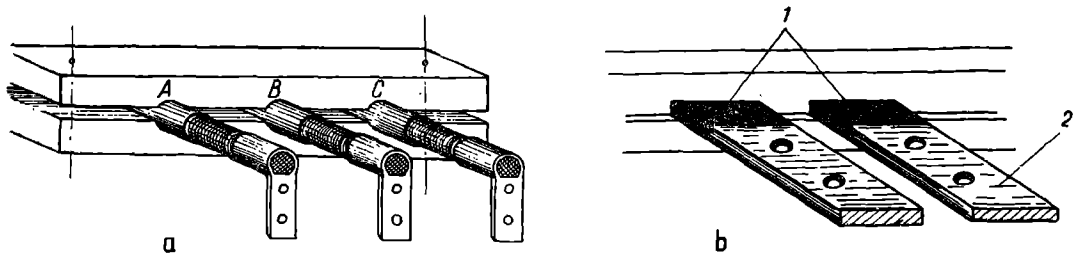


Fig. 8.11. Tipuri de borne pentru mașinile electrice de tensiune joasă și curenți mari :

a — *cabluri cu papuci de legătură*; *b* — *bare de legătură*; *1* — *strat de vopsea*; *2* — *strat de cositor sau argint.*

La mașinile de tensiune joasă și curent mare, la conductoarele sau cablurile de legătură se leagă direct cablurile rețelei ; în acest scop capetele înfășurării se prevăd cu papuci sau capete de legătură, așa cum este reprezentat în fig. 8.11 și 8.12.

În cazul mașinilor de tensiune înaltă, bornele înfășurărilor se realizează de obicei în două forme constructive, așa cum este reprezentat în fig. 8.13 și anume : sub formă de bare izolate, terminate cu porțiuni special pregătite pentru racordul cablurilor de legătură (barele de legătură) ale rețelei (fig. 8.13 ,*a*) sau conductoarele de legătură de la înfășurare sînt legate la borne care trec prin izolatoare (fig. 8.13, *b*). În ultimul caz, placa de borne este metalică și pentru a se evita producerea de pierderi suplimentare se crestează canale radiale față de borne, în jurul fiecărui izolator (*4* în fig. 8.13, *b*).

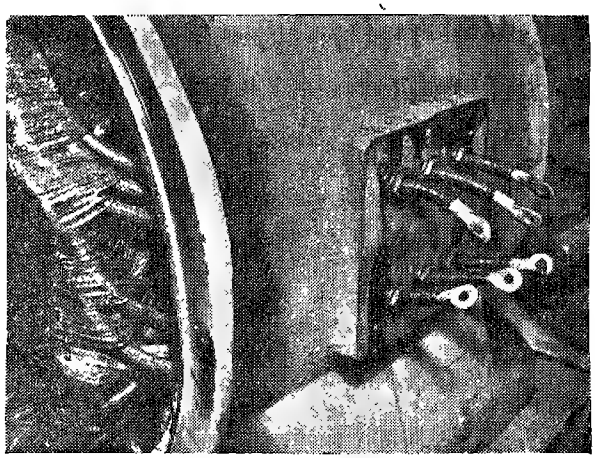


Fig. 8.12. Borne realizate cu cabluri flexibile.

Pentru ușurarea condițiilor de montaj și de utilizare a mașinilor electrice în instalații existente este necesar uneori ca ele să poată fi alimentate de la rețea dintr-o anumită poziție a cablurilor de alimentare. Pentru aceasta se obișnuiește ca în special motoarele să fie astfel construite, încît să poată fi alimentate cu cablu din ambele părți ale carcasei. La motoare de puteri mici pînă la 100 kW, acestea se realizează prin construcția statorului mașinii cu pachetul de tole așezat simetric în carcasă, astfel încît poziția cutiei de borne să se poată inversa ușor prin schimbarea scuturilor între ele.

La motoarele cu puteri mai mari sau la unele motoare de putere mică, dar de construcție mai veche, statorul este prevăzut cu cîte o cutie de borne pe ambele părți, respectiv cu două cutii de borne, în care scop cablurile de legătură de la înfășurare la borne se dublează, așa cum este reprezentat în fig. 8.14.

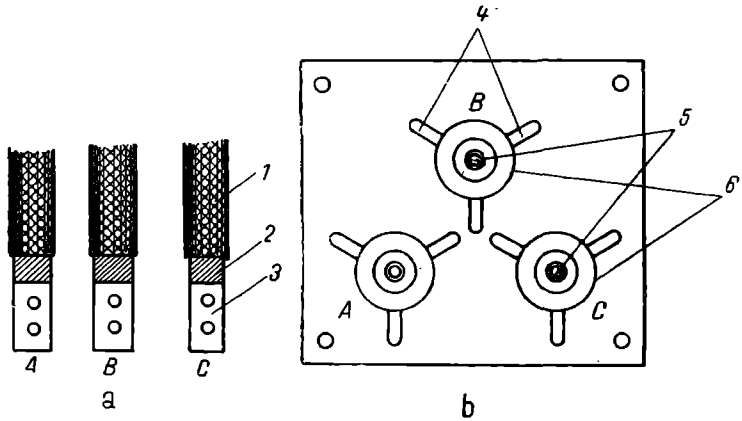


Fig. 8.13. Tipuri de borne pentru mașinile electrice de tensiune ridicată (3 000, 6 000, 10 000 V) ;

a — cu bare izolate; *b* — cu izolatoare de trecere cu borne; *1* — izolație mica-bandă; *2* — vopsea; *3* — suprafață argintată; *4* — canale în placa de borne; *5* — borne; *6* — izolatoare.

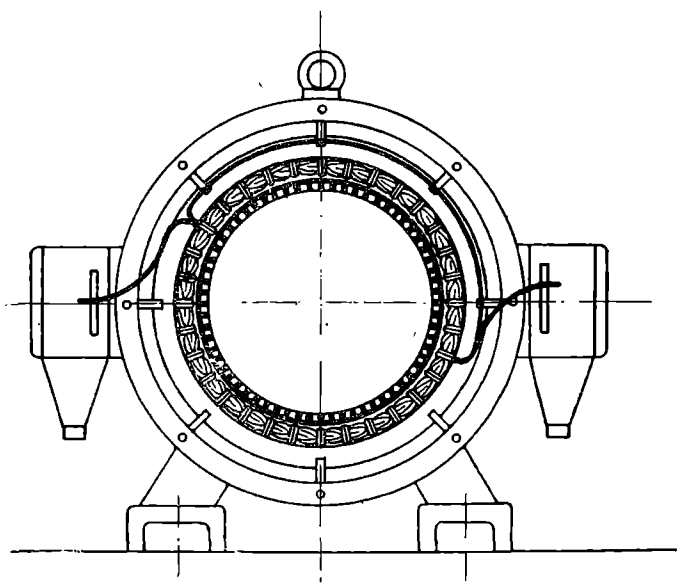


Fig. 8.14. Carcasa mașinilor de curent alternativ de putere mare cu două cutii de borne.

Colectoarele, împreună cu periile care calcă pe acestea, formează dispozitivul de legătură dintre înfășurarea așezată pe rotorul mașinii de curent continuu, respectiv de curent alternativ și placa de borne.

8.4.1. **Colectoarele**

În mașina de curent continuu, colectorul redresează tensiunea alternativă indusă în înfășurarea rotorului, într-o tensiune aproape continuă și realizează împreună cu periile care calcă pe suprafața sa contactul electric dintre înfășurare și circuitul exterior al mașinii.

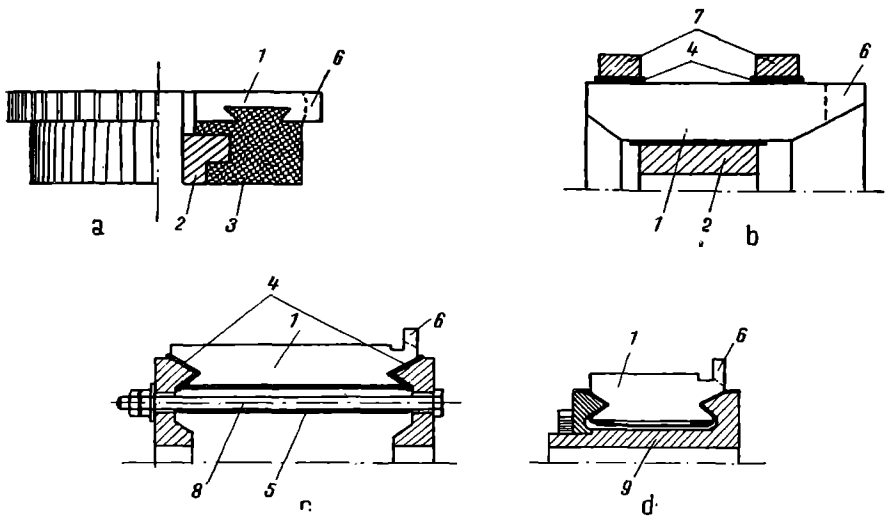


Fig. 8.15. Tipuri uzuale de colectoare :
a — colector radial frontal; *b* — cilindric, cu inele de strîngere; *c* — cilindric, în coadă de rîndunică, cu tijă filetată de strîngere; *d* — cilindric, în formă de pană; *1* — lamelă; *2* — bucșă; *3* — masă izolantă; *4* — izolație; *5* — izolație buloane; *6* — steguleț; *7* — inel de strîngere; *8* — buloane de strîngere; *9* — butuc.

În fig. 8.15 sînt reprezentate principalele tipuri constructive de colectoare folosite în construcția mașinilor electrice și anume : colectorul radial-frontal (fig. 8.15, *a*), pentru mașini de turație mare și de puteri reduse (excitatoarele turbogeneratoarelor) și pentru mașini

la care se impun condiții de funcționare fără zgomot ; colector cilindric cu inele de strîngere (fig. 8.15, *b*), pentru mașini de puteri mijlocii și turații mari ; colector cilindric în coadă de rîndunică (fig. 8.15, c), pentru mașini de putere mare și turație redusă și, în sfîrșit, colector cilindric în formă de pană (fig. 8.15, *d*), pentru mașini de puteri mici și medii și turații medii și mari (mașinile uzuale).

În fig. 8.16 este reprezentat colectorul în coadă de rîndunică și elementele componente ale acestuia. Lamelele de cupru *1*, avînd secțiunea trapezoidală, pentru rigidizarea lor în cadrul colectorului, sînt prelucrate în sistem coadă de rîndunică, ceea ce permite strîngerea lor între suprafețele conice (în V) ale butucului *5* și conul de strîngere *6*. Între lamelele de cupru se introduc lamelele izolante *2* confecționate din micanită specială de colector. În zona steguleților, lamelele izolante ies în afara lamelelor de cupru cu 2—3 mm, pentru a împiedica eventuala scurtcircuitare a lamelelor de cupru la executarea lipiturilor, prin cositorul scurs de pe steguleț.

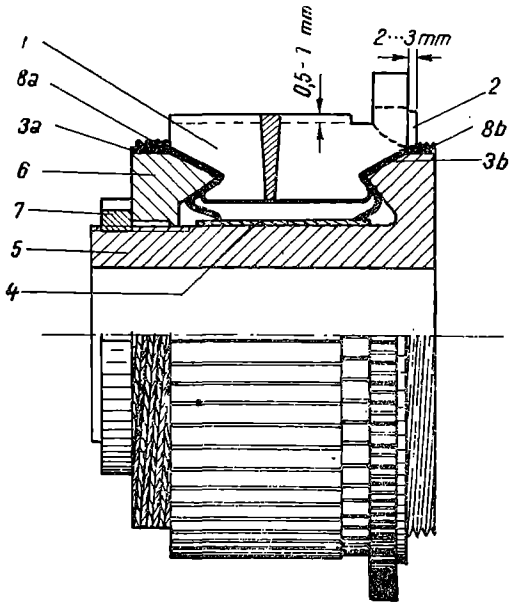


Fig. 8.16. Elemente constructive componente ale colectorului cilindric în coadă de rîndunică :

1 — lamela de cupru; *2* — lamela izolantă; *3a* și *3b* — conuri izolante; *4* — izolație față de butuc; *5* — butucul colectorului; *6* — conul de strîngere; *7* — piuliță de strîngere; *8a* și *8b* — bandaje din sfoară pentru consolidarea izolației.

Întrucît micanita de colector are duritate mai mare decît cuprul din care sînt confecționate lamelele, pentru ca periile care calcă pe suprafața colectorului să se uzeze uniform, se practică operația de frezare a lamelei de micanită la suprafața colectorului, pe o adîncime de 0,5—1 mm ; această operație se numește canelare.

Un colector în stare de funcționare normală trebuie să prezinte următoarele calități :

— suprafaţa sa să fie lucioasă, de culoare uniformă vişiniu-deschisă ; apariţia de pete de culoarea cuprului curat ca şi apariţia de pete cu depuneri de cărbune de la peria de contact indică o funcţionare anormală a colectorului ;

— încălzirea colectorului să fie uniformă, în special pe suprafaţa sa ; apariţia de zone mai calde pe suprafaţa colectorului indică funcţionarea sa anormală şi duce la degradarea colectorului, ca urmare a dilatării neuniforme a anumitor părţi din ansamblul său ;

— strîngerea colectorului să fie foarte bună la orice regim de funcţionare ; la lovirea sa cu un ciocănel, sunetul obţinut trebuie să fie ca al unui corp omogen ;

— în funcţionarea sa să nu apară bătăi sau jocuri ale lamelelor sau ale coroanei acestora, datorită slăbirii strîngerii ;

— colectorul trebuie să aibă lamelele de cupru izolate între ele şi faţă de butucul sau dispozitivul de strîngere al acestuia ; controlul

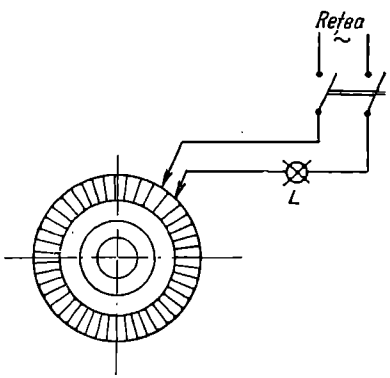


Fig. 8.17. Controlul izolaţiei între lamelele de cupru ale colectorului :
L — lampă cu incandescenţă.

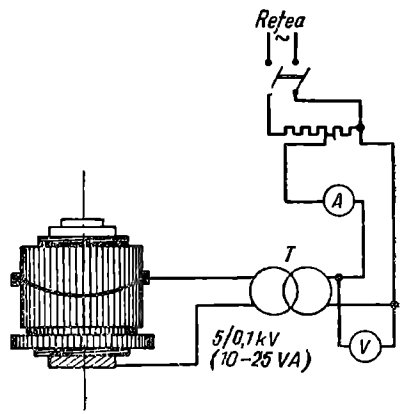


Fig. 8.18. Controlul izolaţiei colectorului faţă de masă :
T — transformator ridicător avînd raportul de transformare 5/0,1 kV sau 3/0,1 kV, iar puterea aparentă de aproximativ, 50 VA.

izolaţiei între lamele se execută conform indicaţiilor din fig. 8.17, folosindu-se o lampă de control cu incandescenţă ; verificarea se face între fiecare două lamele vecine.

Controlul izolaţiei lamelelor faţă de butucul colectorului şi faţă de inelul de strîngere în V se execută cu ajutorul unei scheme ca

aceea reprezentată în fig. 8.18. Tensiunea de încercare se aplică timp de un minut și se alege în funcție de tensiunea nominală a mașinii ; în nici un caz nu este mai mică decît 2 500 V.

În cazul în care se constată că izolația între lamele sau izolația lamelelor față de butucul colectorului este distrusă, este necesară remedierea sau înlocuirea colectorului.

Datorită frecării periilor pe colector, lamelele de cupru se uzează neuniform și prin aceasta suprafața colectorului nu mai asigură un contact bun cu periile ; în acest caz se recurge la strunjirea colectorului. Lamelele colectoarelor sînt însă astfel dimensionate, încît în exploatare colectorul poate fi strunjit de mai multe ori pînă la

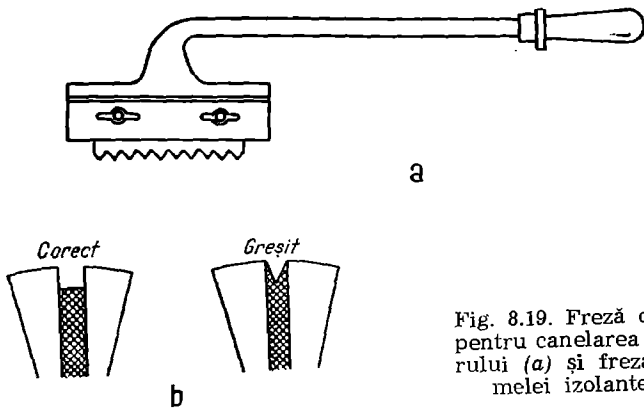


Fig. 8.19. Freză de mînă pentru canelarea colectorului *(a)* și frezarea lamelei izolante *(b)*.

10 mm pe rază. După operația de strunjire, se execută canelarea lamelelor izolante pe o adîncime de 0,5—1 mm pe rază. Canelarea se poate executa cu mașini de frezat speciale (în fabricație de serie) sau scule manuale reprezentate în fig. 8.19, unde se arată și felul în care trebuie executată frezarea corectă a lamelei de micanită.

8.4.2. Colectoarele mașinilor mici și micromașinilor

În fig. 8.20 sînt reprezentate două colectoare cilindrice executate cu material plastic și avînd lamelele cu secțiunea fie trapezoidală, fie în L. Pentru asigurarea unei bune consolidări în materialul plastic, profilul conturului lamelelor diferă de coada de rîndunică. De asemenea, pentru consolidare se folosesc inelele *4* (fig. 8.20, *b*) care se confecționează din sîrmă de oțel arc sau din țeavă.

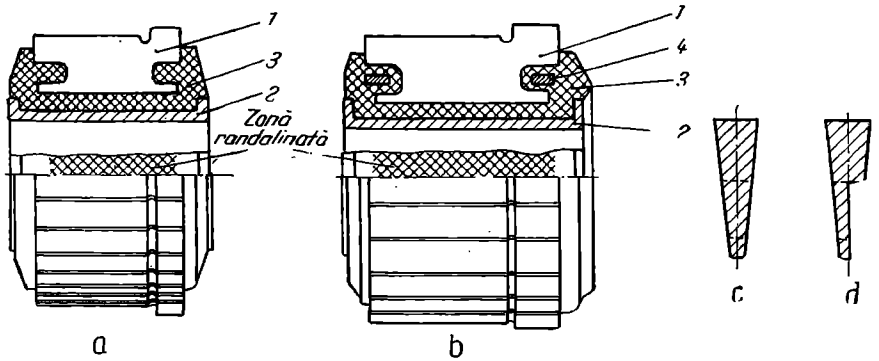


Fig. 8.20. Colectoare cilindrice cu material plastic pentru mașini electrice de putere mică :

a — fără inele de consolidare; *b* — cu inele de consolidare; *c* — lamelă cu secțiunea trapezoidală; *d* — lamelă cu secțiunea în „L"; *1* — lamela de cupru; *2* — bucșa-butuc; *3* — masa plastică; *4* — inele de consolidare.

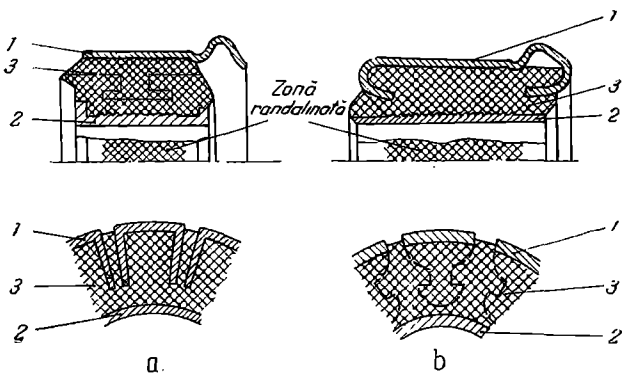


Fig. 8.21. Colectoare cilindrice cu masă plastică și lamelele din bandă de cupru, pentru micromotoare electrice cu fixarea lamelelor : în masa plastică de-a lungul lamelei (*a*) sau în capetele lamelei (*b*) ;

1 — lamela de cupru; *2* — bucșa-butuc; 3 — masa plastică.

În fig. 8.21 sînt reprezentate două tipuri de colectoare cilindrice în material plastic de tipul celor ce se utilizează în construcţia micromotoarelor electrice. La aceste colectoare, lamelele de cupru sînt realizate din benzi de cupru cu fixarea de-a lungul lamelelor (fig. 8.21, *a*) sau în capete (fig. 8.21, *b*), izolaţia între lamele fiind realizată de materialul plastic *3* folosit şi pentru asamblarea mecanică.

8.4.3. **Inelele de contact**

Inelele de contact servesc pentru stabilirea legăturii electrice a circuitului exterior cu înfăşurarea aşezată pe rotorul maşinilor de curent alternativ. Împreună cu periile, ele formează sistemul colector al maşinilor de curent alternativ (asincrone şi sincrone). În fig. 8.22 sînt reprezentate două tipuri constructoare de inele de contact şi anume : tipul realizat prin montarea *la cald* a inelelor metalice pe bucşa suport izolantă (fig. 8.22, *a*) şi un tip mai modern, utilizat în fabricaţia în serie, la care inelele metalice sînt înglobate în masa de presare (fig. 8.22, *b*).

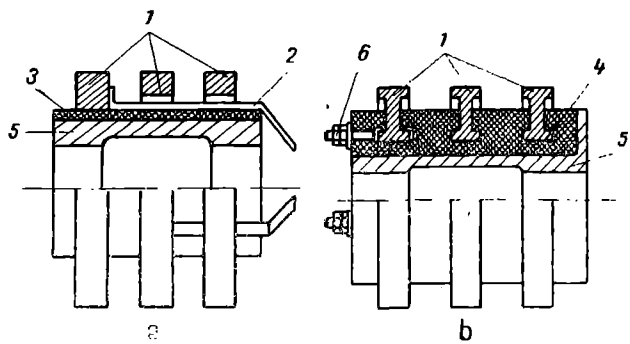


Fig. 8.22. Inele de contact :
a — trase la cald pe butuc; *b* — în masă izolantă de presare; *1* — inele de contact; *2* — lamelă de legătură; *3* — izolaţie; *4* — masă izolantă; *5* — butuc; *6* — bornă.

Ca şi colectoarele, inelele de contact trebuie să fie izolate între ele şi faţă de butuc. De asemenea, suprafaţa de contact de pe inele trebuie să fie lustruită, pentru ca între inel şi perie să se obţină o rezistenţă electrică de trecere cît mai mică. În caz contrar apar scîn-

tei la inele și încălziri excesive care degradează suprafața de lucru și provoacă deranjamente în funcționarea mașinilor.

Izolația dintre inele și față de corp se verifică fie cu ajutorul unui megohmmetru de minimum 500 V, fie cu ajutorul montajului reprezentat în figurile 8.17 și 8.18, operația executîndu-se între fiecare două inele și între inele și butuc.

8.5. PERIILE MAȘINILOR ELECTRICE

8.5.1. Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească periile

Periile servesc pentru culegerea tensiunii induse în înfășurările rotoarelor mașinilor electrice sau pentru alimentarea lor.

Pentru o bună funcționare a mașinii periile trebuie să îndeplinească următoarele condiții :

— să asigure o cădere de tensiune minimă la trecerea curentului prin suprafața de contact cu colectorul, respectiv cu inelele de contact ;

— să asigure o cădere de tensiune cît mai mică prin corpul periei și în legătura dintre perie și cablu (lița de legătură la partperie) ;

— să suporte o densitate de curent cît mai mare ;

— să aibă un coeficient de frecare cît mai mic în contact cu materialul din care este confecționat colectorul sau inelele de contact ;

— să aibă o structură uniformă, lipsită de incluziuni (granule) de durități diferite ;

— să aibă un coeficient de uzură cît mai mic ;

— să suporte cît mai bine vibrațiile atît cele provenite din funcționarea mașinii, cît și cele transmise de la mașină sau mecanismul cu care este cuplată mașina electrică respectivă.

8.5.2. Tipuri de perii. Caracteristici

Periile sînt împărțite în patru clase de calitate, în funcție de materialul din care sînt confecționate, caracteristicile lor diferind de la clasă la clasă.

În cadrul claselor sînt stabilite mai multe calităţi de perii, pe de o parte după granulaţia materialului, iar pe de altă parte după duritatea diferită realizată prin procesul tehnologic (presare, tratament termic).

În tabela 8.2, sînt date clasele şi grupele calitative ale periilor şi caracteristicile lor funcţionale.

Una şi aceeaşi perie, la utilizarea ei pe inelele de contact (la o maşină sincronă sau motor asincron), admite o densitate de curent mai mare decît în cazul utilizării ei pe colector ; în cazul colectoarelor la maşinile de curent continuu sau la maşinile de curent alterna-

Clasele, grupele calitative

Clasa materialului şi simbolul clasei	Tipul periei			Rezistivitate $\Omega \cdot mm^2/m$	Duritatea (Shore)	Tensiunea de rupere V
	Grupa					
	Nr. grupei	Simbolul grupei	Calitatea materialului			
Clasa I Cărbune grafit „K“	1	K1	Dur	85—40	50—70	8—12
	2	K2	Semidur	<40	40—50	5—10
Clasa II Grafit „G“	1	G1	Foarte rezistiv	>200	>30	—
	2	G2	Rezistiv	200—80	>30	—
	3	G3	Normal	70—30	>30	8—12
	4	G4	Conductiv	30—12	<25	3—7
	5	G5	Abraziv	—	—	—
Clasa III Electrografit : „E“	1	E1	Foarte tare	65—51	—	>20
	2	E2	Tare	50—41	—	20—15
	2	E3	Normal	40—31	—	15—10
	4	E4	Slab	30—21	10—75	12—8
	5	E5	Foarte slab	20—12	—	5—2
	6	E6	Special	—	—	—
Clasa IV Metalgrafit „M“	1	M1	Foarte slab	12—6	>20	>1,5
	2	M2	Slab	6—1,5	>20	1,5—1,0
	3	M3	Normal	1,5—0,5	>20	1,0—0,5
	4	M4	Bogat	0,6—0,25	<20	1,0—0,5
	5	M5	Foarte bogat	0,25—0,2	<20	1,0—0,5
	6	M6	Aliat	0,12—0,08	<20	<0,5
	7	M7	Bogat aliat	<0,08	—	<0,5
	8	M8	Bronz special	—	—	<0,9

tiv cu colector, datorită fenomenului de comutație, peria este solicitată de curenți mai mari decît cei măsurați în circuitul rotorului (se adaugă curentul de comutație).

Cunoscînd presiunea specifică p_p admisibilă pe suprafața de contact, se calculează, la o secțiune de perie S_p dată, forța de apăsare cu care resortul portperiei trebuie să apese peria pe colectorul mașinii (fig. 8.23, *a*), cu relația

$$F_p = p_p S_p \quad [\text{gf}]. \tag{8.1}$$

Tabela 8.2

și caracteristicile periilor

Căderea de tensiune maximă pe o pereche de perii, V	Densitatea de curent maximă A/cm²		Viteza maximă m/s		Rezistența la întindere (rupere) kgf/cm²	Presiunea, gf/cm		
	Colector	inele de contact	Colector	Inele de contact		Colector	Colector tracțiune	Inele de contact
2,5	3—6	—	12	—	300—800	180	350	—
2,5	6—8	—	15	—	150—500	160	320	—
4,5	7	—	15	—	300—400	210	380	—
3,5	9	—	40	—	—	180	280	—
3	10	11	50	60	—	160	—	140
2,5	11	13	25	40	120—250	180	—	160
2,5	—	9	10	15	300—400	210	380	190
3,5	9	10	45	60	—	—	—	—
3,5	10	12	40	50	250—800	—	—	—
3,5	11	13	40	50	—	210	380	210
3,5	10	12	30	40	—	—	—	—
3,0	12	13	40	50	100—300	—	—	—
—	6—9	—	—	—	—	—	—	—
<2,5	10	12	20	25	—	—	—	—
<2	11	15	25	30	150—500	—	—	—
<1,5	12	18	20	23	—	280	380	225
<1,5	13	20	20	23	500—800	—	—	—
<1,2	—	25	—	20	—	—	—	—
<0,5	—	25	—	20	800—2 000	—	—	—
<0,5	—	25	—	20	—	—	—	—
<0,4	—	20—30	—	12—25	—	300	—	250

La înlocuirea unei perii uzate cu una nouă, dacă aceasta nu este bine ajustată pentru a călca pe toată suprafața de contact (fig. 8.23, *b*), presiunea specifică pe suprafața de contact se mărește.

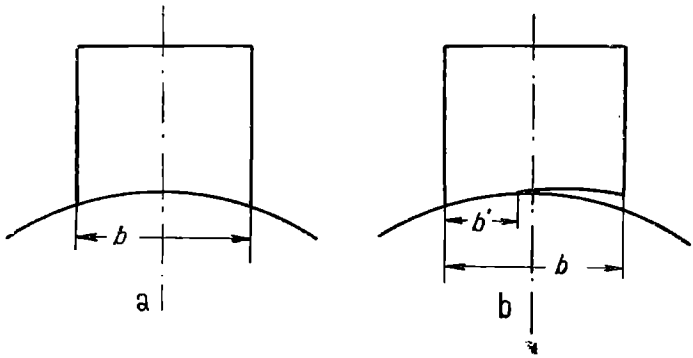


Fig. 8.23. Așezarea periei pe suprafața colectorului (inelelor de contact) :
a — corectă; *b* — incorectă.

8.5.3. **Formele constructive ale periilor**

Datorită utilizării și condițiilor de lucru foarte variate la care trebuie să corespundă periile, formele și dimensiunile lor sînt foarte diferite.

În forma completă, o perie are următoarele elemente (fig. 8.24) :

— peria propriu-zisă *1* ;

— armătura din tablă de cupru *2*, fixată de peria de cărbune prin niturile *5* ;

— conductorul flexibil de conexiuni *3*, fixat de armătura *2* cu ajutorul urechii *6* și care se leagă la contactul fix prin papucul *4*.

Periile de categoria A ; materialul presat sub formă de placă se taie la dimensiunea periei sau se presează în matrițe la dimensiunile dorite. În fig. 8.25, *a*, *b*, c și *d* sînt arătate cîteva tipuri de perii aparținînd acestei categorii. Periile de cărbune (*K*1 și *K*2), din grafit (*G*1, *G*2, *G*3, *G*4 și *G*5), precum și acelea din electrografit (*E*1, *E*2, *E*3, *E*4, *E*5 și *E*6) se execută cu suprafața arămită (cuprată) pe maximum o treime din înălțimea periei, așa cum este reprezentat în fig. 8.26, pentru asigurarea unui contact electric bun cu caseta portperiei.

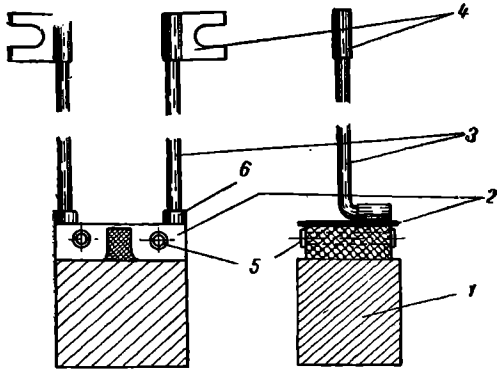


Fig. 8.24. Elementele constructive ale unei perii cu armătură și conductor flexibil de conexiune :

1 — perla de cărbune; *2* — armătura; *3* — conductorul de conexiune; *4* — papucul conductorului; *5* — nit de fixare a armăturii pe perie; *6* — ureche pentru racordul la conductorul de conexiune.

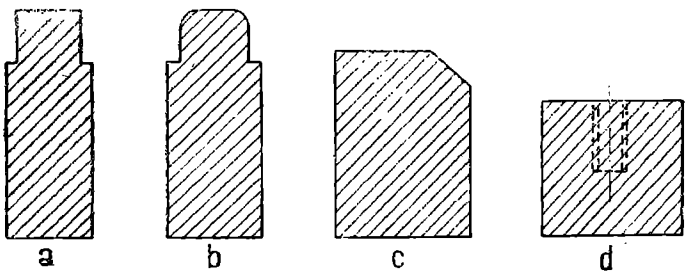


Fig. 8.25. Perii de cărbune simple, fără conductor de conexiuni și fără armătură (categoria A).

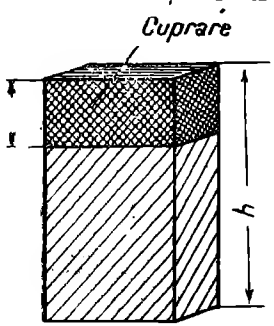


Fig. 8.26. Perie de cărbune armată.

Periile din categoria B au în componența lor (în afară de corpul periei) conductorul de conexiune pentru racordul periei la cablul de racord al portperiei, așa cum este arătat în fig. 8.27, *a, b, c, d, e, f* și *g*.

Conductorul de conexiune, realizat din liță de cupru, se cositorește și se introduce în orificiul practicat în perie, fiind solidarizat de aceasta fie prin presare, fie prin nituire.

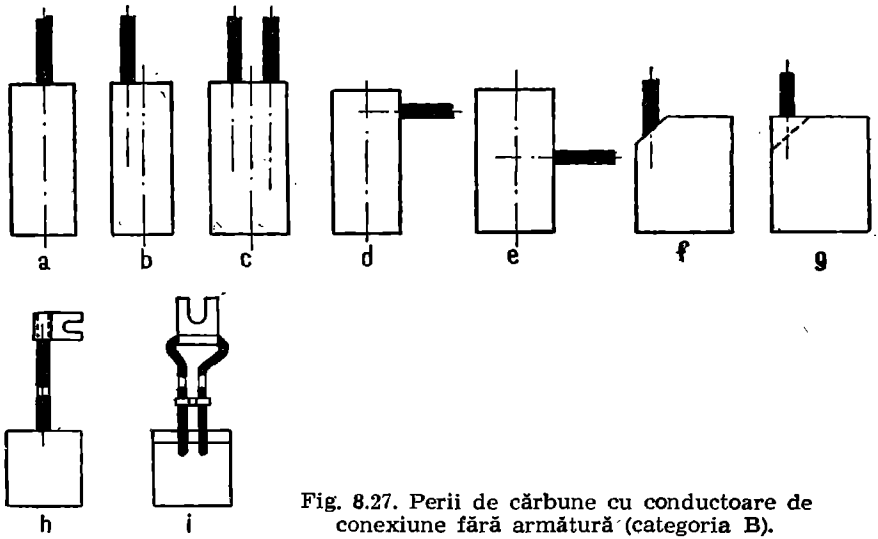


Fig. 8.27. Perii de cărbune cu conductoare de conexiune fără armătură (categoria B).

La extremitatea cealaltă, conductorul de conexiune are un papuc sau clemă, spre a servi la legarea sa la bornele portperiei (fig. 8.27, *h* și *i*).

Periile din categoria C sînt echipate cu armătură din tablă de cupru și conductor de conexiune, așa cum se arată în fig. 8.24. În cazul periilor de cărbune, grafit sau electrografit, din această categorie, care sînt arămite, zona arămită este determinată de tipul armăturii aplicate, ea trebuind să fie cel puțin egală cu înălțimea armăturii.

8.5.4. Dimensiunile periilor

Dimensiunile principale ale periilor paralelipipedice sînt reprezentate în fig. 8.28, *a* și *b* și anume :

— lungimea *l* ;
— lățimea *b* ;
— înălțimea *h*.

Prin STAS 4199-53 sînt standardizate dimensiunile *l*, *b* și *h* pentru periile paralelipipedice, valorile standardizate fiind date în STAS 4199-53.

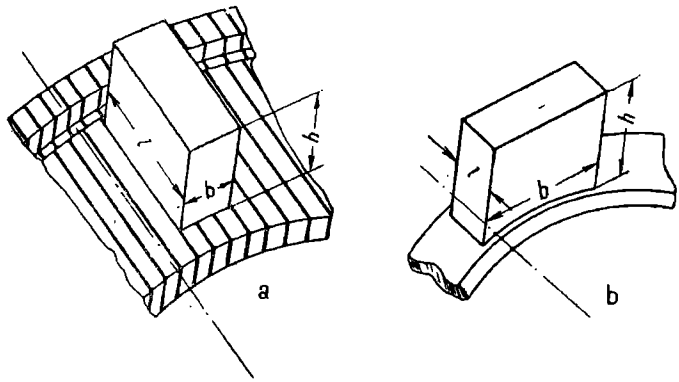


Fig. 8.28. Notarea dimensiunilor periilor.

8.5.5. Alegerea periilor

La alegerea celui mai indicat tip de perie pentru fiecare mașină electrică în parte trebuie cunoscute următoarele :

a) tipul mașinii (de curent continuu sau alternativ) ;

b) regimul de lucru al mașinii care poate fi, din punctul de vedere al duratei de funcționare, regim de durată (continuu) sau regim intermitent (în cicluri), iar din punctul de vedere al caracterului regimului de lucru : regim greu de lucru (tracțiune, șocuri mari de sarcină), regim normal de lucru, regim ușor de lucru ;

c) caracteristicile funcționale principale ale periei impuse de mașină ; densitatea curentului prin perie și viteza periferică a colectorului sau inelului de contact ;

d) caracteristicile de exploatare ale tipurilor de perii ;

e) tipul de perie folosit anterior, în cazul alegerii unei perii noi cu ocazia operațiilor de întreținere curentă la mașinile din exploatare.

Densitatea curentului prin perie, J_p se calculează cu relația

$$J_p = \frac{I_p}{S_p} \quad [A/cm^2] \tag{8.2}$$

în care :

I_p este intensitatea curentului prin perie, în A ;

S_p — secțiunea periei, în cm^2.

La mașina de curent continuu, valoarea intensității curentului nominal I (în amperi) este dată pe eticheta mașinii. Acest curent se distribuie pe toate periile pozitive și respectiv pe toate periile negative.

Curentul I_p printr-o perie se determină împărțind curentul I la numărul de perii pozitive (sau negative) n_p, adică

$$I_p = \frac{I}{n_p} \quad [\text{A}]. \tag{8.3}$$

Numărul de perii de același nume (pozitive sau negative) se obține la rîndul său luînd jumătatea produsului dintre numărul tijelor portperii și numărul periilor de pe o tijă.

La mașina asincronă sau sincronă, este dată valoarea intensității curentului rotoric I_r (în amperi) pe eticheta mașinii.

Curentul I_p printr-o perie se determină împărțind curentul I_r la numărul total de perii care calcă pe același inel n_{pl}, adică

$$I_p = \frac{I_r}{n_{pl}} \quad [\text{A}]. \tag{8.4}$$

Viteza periferică a colectorului sau inelului de contact v_k se determină din valoarea turației rotorului, în rotații pe minut, și diametrul colectorului D_k sau inelul de contact, exprimat în metri, cu ajutorul relației

$$v_k = \frac{3{,}14\, D_k n}{60} = 0{,}0524\, D_k n \quad [\text{m/s}]. \tag{8.5}$$

Diametrul D_k al colectorului sau al inelelor de contact este diametrul măsurat pe suprafața pe care calcă periile.

În tabela 8.3 sînt date unele indicații privind alegerea calității periei în funcție de caracteristicile mașinii.

În anexa IX este dată corespondența unor tipuri de perii de fabricații diverse.

Indicații cu privire la alegerea calității periilor

Caracteristicile mașinii			Densitatea de curent la perii A/cm.²	Viteza periferică a colectorului sau a inelului m/s	Calitatea periei	
					I alegere	Alte posibilități
Generatoare de curent alternativ	Cu inele	Cu ridicător de perii	<20	<15	M6	—
		Cu ridicător de perii	<15	<25	M5	—
		Cu ridicător de perii	<12	<20	M4	—
		Cu ridicător de perii	< 6	<15	M3	E3
		Fără ridicător de perii (inclusiv convertizor cu un indus)	<20	<15	M1	M6
			<15	<25	M6	M3, E5
			10—12	<25	M3	F5, G4
		Perii protejate (capsulate)	—	—	M1	—
		Perii protejate și ventilate	—	—	M5	M4
		Mașini cu ax vertical	—	—	M3	—
		Normale	4—8	<25	G3	—
			5—8	<30	G4	—
	Cu colector	*Asincrone*				
		Perii normale	<9	<50	E1	E2—G2
		Perii înguste (pentru mașini sub 10 kW)	<10	<30	E3	—
		Perii înguste (10—50 kW)	<10	<30	E2	—
		Perii înguste (peste 50 kW)	<10	<40	E2	G2
		Monofazate				
		Sub 1 kW (și repulsie)	<6	<10	K1	K2
		Peste 1 kW	—	—	E4	E3—K2—G2
	Inele de cupru și de bronz	Normale	<3	<25	E5	E4—G4
		Normale	10—12	<25	E5	E4—M3
	Inele de fontă și de oțel	Normale	<3	<25	G3	G4
		Normale	10—12	< 5	E5	G4
	Colectorul excitatoarei	Peste 100 V	—	<25	E3	G3
		60—100 V	—	<25	E5	E4—E3—G4
		20— 60 V	—	<25	M3	—

Tabela 8.3 (continuare)

Caracteristicile mașinii				Densitatea de curent la perii A/cm²	Viteza periferică a colectorului sau a inelului m/s	Calitatea periei	
						I alegere	Alte posibil
Generatorul de curent alternativ	Inele de cupru și bronz	Normale		<8	<25	E1	E5
		Normale		<10	<25	M3	E5
	Inele de fontă și de oțel	Normale		<8	<25	E5	G4
		Normale		<10	<25	E1	E5
	Colectorul excitatoarei	—		—	<25	E3	G3
		—		—	<25	E4	G4
Motoare de curent continuu (stabile)	Industriale	Sub 10 kW	normale,	—	—	G3	K2
			max. 220 V	—	—	E4	—
			supersilenți cu ax vertical	—	—	E3	E4—G2
		10—30 kW	<120 V	<8	<15	K2	K1
		30—50 kW	<120 V	<10	<20	E4	E3—K2
		50—100 kW	<120 V	<10	20—25	E4	E3
	Ascensoare, macarale, pompe	10—25 kW	250 V	<8	<15	E3	K2
			250—500 V	<7	<12	E2	K2
			250—500 V în mediu cu gaze	—	—	K1	—
				—	—	E3	G3
		25—100 kW	sub 500 V reversibile	<10	<15	E4	E3
			Idem	<10	15—30	E3	E2
			peste 500 V, în mediu cu gaze	<9	50	E2	E1
	Ascensoare miniere și utilaj naval			—	—	E3	G3
	Servomotoare	100—220 V		<6	<10	K2	K1
		60—100 V		<10	<5	E4	E3
		24— 15 V		—	—	M3	M2
		6— 15 V		—	—	M6	—
	Motoare pentru laminoare	Linia grea (blooming)		—	<9	<50	E1
		Linia mijlocie		—	<9	30—40	E2
		Linia ușoară		—	10	30—40	E3

Tabela 8.3 (continuare)

Caracteristicile mașinii			Densitatea de curent la perii A/cm²	Viteza periferică a colectorului sau a inelului m/s	Calitatea periei	
					I alegere	Alte posibilități
Motoare de curent continuu (stabile)	Motoare pentru convertizoare	50—100 V	<10	<5	E4	E3
		idem	<10	7—8	E2—E1	—
		idem	<10	<10	E1	—
		25—50 V	<10	<4	M3	G3
		idem	10—12	<4	M2	M1
		idem	13—15	<4	E5	M1
		Sub 20 V	<10	<2	M6	M5
		idem	<10	<2	M1	—
Generator de curent continuu (stabile)	Industriale	Peste 500 V	—	—	E3	E2
		220—500 V	—	—	E3	G3
		110—220 V	<10	20—30	E3	E2
		80—110 V	<10	20—25	E4	E5—G4
		40— 80 V	<12	<20	E5	M1—G4
		24— 40 V	<12	<20	M1	M2—M3
		12— 24 V	10—15	<20	M4	M3—M2
		6— 12 V	<20	<20	M6	M5
		Sub 6 V	—	—	M7	M6
	Leonard și	Viteză medie	<10	21—30	E3	E2
		Viteză mare	<10	40—50	E1	—
	Excitatoare pentru mașini sincrone	Sub 30 kW	<8	<15	E3	G4—K2
		Peste 30 kW normale	<10	20—25	E4	E5—G4
		Peste 30 kW rapide	<10	20—30	E3	E4—G3
		Peste 30 kW foarte rapide	<9	40—60	E1	—
	Generatoare de sudură		—	—	E5	G4
Mașini de curent continuu (mobile)	Tracțiune cu acumulatoare	peste 100 V	—	—	E4	E3
		50—100 V	—	—	E4	G3
		sub 50 V	—	—	M3	G3
	Generatoare sistem Dick (compresoare de frînă)		—	—	E2	K
	Diesel electrice	Generatorul	—	—	E4	E3
		Motorul	—	—	E4	E3

Tabela 8.3 (continuare)

	Caracteristicile mașinii		Densitatea de curent la perii A/cm²	Viteza periferică a colectorului sau a inelului m/s	Calitatea periei	
					1 alegere	Alte posibilități
Mașini de curent continuu (mobile)	Locomotive electrice	100—220 V	<10	20—30	E3	E2
		220—500 V	<10	30	E4	E3
		miniere <100 V	<10—12	20	G4	M1
	Troleibuze normale	—	—	—	E3	G2
	Tramvaie, motorul principal și compresoarele		—	—	E3	K2
	Motoare monofazate cu colector $15/^2/_3$ Hz		—	—	E3	K1
Auto	Dinam	Perii principale	—	—	E3	M3
		Perii de cîmp	—	—	E3	G2
	Demaror	24 V	—	—	M5	—
		12 V	—	—	M6	—
		6 V	—	—	M7	—
	Dinam-demaror	Perii principale	—	—	M5	M1
		Perii de cîmp	—	—	M1	—
	Distribuitor (Delco)	—	—	—	K2	K1
	Magnetouri	—	—	—	K2	K1
	Motoare pentru acționarea ștergătorului de parbriz	—	—	—	M1	M6
Universale	Motoare mici	Ventilatoare, aspiratoare, uscătoare de păr etc.	—	—	K2	K1
		Unelte electrice de mînă	—	—	E3	—

8.5.6. Montarea și întreținerea periilor mașinilor electrice

Înainte de montarea periilor se execută : pregătirea portperiilor, pregătirea periilor și șlefuirea periilor.

Pregătirea portperiilor constă din două operații și anume : curățirea portperiilor de praf și impurități și montarea rigidă a acestora pe tija suport. În legătură cu a doua operație trebuie ținut seama că periile trebuie să fie astfel așezate pe suprafața colectorului încît să-l uzeze uniform. Din acest motiv, portperiile se montează astfel pe tijele suport, încît grupele de perii să fie așezate decalat între ele pe suprafața colectorului, așa cum este reprezentat în fig. 8.29 (reprezentare desfășurată a colectorului).

Pentru ca peria să fie bine ghidată și susținută în portperie, se recomandă ca muchiile portperiei să nu fie situate la o distanță mai mare de 4 mm de la suprafața colectorului sau inelelor de contact, așa cum este reprezentat în fig. 8.30.

Pregătirea periilor constă îndeosebi în aducerea lor la dimensiunile necesare. Este de preferat ca periile să fie comandate la astfel de

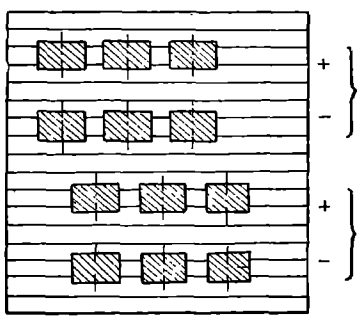


Fig. 8.29. Așezarea periilor pe suprafața colectivului.

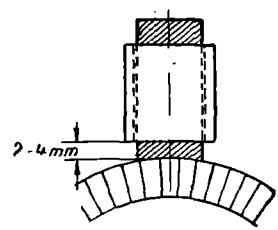


Fig. 8.30. Poziția portperiei față de colector.

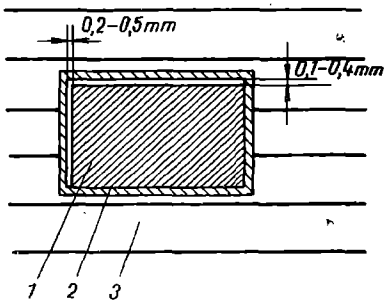
dimensiuni încît să se evite această operație. În cazul cînd sînt mai mari decît dimensiunile necesare, periile se șlefuiesc fie cu ajutorul unei pile fine, fie cu ajutorul hîrtiei sticlate de granulație din ce în ce mai fină (numere din ce în ce mai mici). În final șlefuirea se execută numai în sensul de rotație al mașinii, dacă acesta este stabilit.

La executarea acestei operații se au în vedere jocurile necesare dintre perie și portperie (fig. 8.31), și anume :

— în sensul rotației mașinii : 0,06—0,15 mm ;

— în sensul axei mașinii : 0,06—0,21 mm.

Pentru a obține o cît mai bună așezare a periei pe suprafața colectorului, șlefuirea cu hîrtie sticlată se execută așa cum se arată în fig. 8.32, hîrtia fiind cu suprafața abrazivă spre perie.



8.31. Jocurile dintre perii și portperie :
1 — perie din cărbune; *2* — portperie; *3* — colector.

După șlefuire, periile se curăță de praful de cărbune și se montează în portperie.

La montarea periilor în portperie se verifică calitatea șlefuirii și jocurilor în portperie. De asemenea se verifică cu ajutorul unui dinamometru presiunea resortului pe perie, neadmițîndu-se diferențe care să depășească cu peste 10—15% presiunea prescrisă.

Această uniformitate a presiunilor este necesară pentru uzarea uniformă a periilor și colectorului și pentru ca toate periile să fie încărcate la fel.

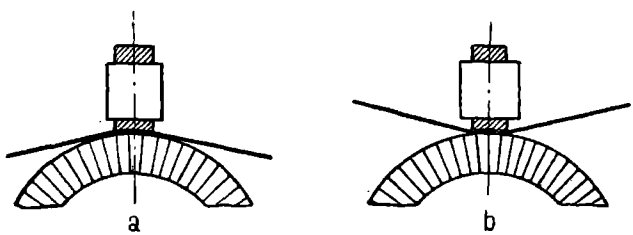


Fig. 8.32. Șlefuirea periilor :
a — corectă; *b* — incorectă.

După montarea periilor și executarea verificărilor menționate se pornește mașina și se lasă să funcționeze în gol cîteva ore, pentru o mai bună șlefuire a periilor pe suprafața de contact cu colectorul sau inelele de contact.

In timpul funcționării mașinilor, în exploatare, este bine ca la intervale de timp stabilite să se execute o curățire a periilor de praful de cărbune sau alte impurități. Operația se face prin spălarea în benzină a periilor și suflarea cu aer comprimat a portperiilor.

9. Construcția și execuția înfășurărilor concentrate

Forma constructivă și metodele de confecționare a înfășurărilor concentrate depind de tipul acestora (v. cap. 3) de modul de așezare pe miezul feromagnetic, de tipul conductorului de bobinaj folosit (rotund sau dreptunghiular) și de caracteristicile nominale ale mașinii. Avînd în vedere modul de așezare a bobinelor pe miezul feromagnetic se deosebesc :

— înfășurări concentrate cu bobine polare,
— înfășurări concentrate pentru poli înecați.

9.1. CONSTRUCȚIA ȘI EXECUȚIA ÎNFĂȘURĂRILOR CONCENTRATE CU BOBINE POLARE

9.1.1. Tipuri constructive

Elementul constructiv de bază al înfășurărilor concentrate este bobina polară. Pe un miez polar poate fi așezată o singură bobină (v. fig. 3.1) sau mai multe bobine denumite *secții ale bobinei polare* sau *bobine polare elementare*. Dacă bobinele elementare aparțin aceleiași înfășurări se execută cu același tip de conductor, iar dacă aparțin la înfășurări diferite, se execută cu conductoare de bobinaj de secțiuni (eventual și de forme) diferite.

Se disting următoarele tipuri constructive de bobine polare :

— bobine polare cu conductor rotund ;
— bobine polare cu conductor de secțiune dreptunghiulară ;

— bobine polare secționate formate din două sau mai multe bobine elementare cu conductoare de secțiuni diferite.

În tabela 9.1 este arătată utilizarea tipurilor de bobine polare în componența înfășurărilor concentrate ale mașinilor electrice.

Tabela 9.1

Domenii de utilizare în construcția mașinilor electrice a înfășurărilor concentrate cu bobine polare

Nr. crt.	Tipul bobinei polare	Domeniul de utilizare
1	Bobine polare cu conductor rotund	— Înfășurări de excitație derivație sau separată la mașinile de curent continuu cu puteri pînă la 50 kW ; — Înfășurări de excitație serie la mașinile de curent continuu cu puteri pînă la 3 kW ; — Înfășurări ale polilor auxiliari la mașinile de curent continuu cu puteri pînă la 3 kW ; — Înfășurări de excitație la mașinile sincrone cu poli aparenți, de putere mică (sub 100 kW) și turație, peste 750 rot/min ; — Înfășurări polare la mașinile electrice monofazate, de putere mică ;
2	Bobine polare cu conductor de secțiune dreptunghiulară	— Înfășurări de excitație derivație sau separată la mașinile de curent continuu cu puteri peste 50 kW ; — Înfășurări de excitație serie la mașinile de curent continuu cu puteri de peste 3 kW ; — Înfășurări ale polilor auxiliari la mașinile de curent continuu cu puteri peste 3 kW ; — Înfășurări de excitație la mașinile sincrone cu poli aparenți cu puteri peste 100 kW precum și cu puteri sub 100 kW, dar la turații mici (sub 750 rot/min).
3	Bobine polare cu două sau mai multe secțiuni (bobine elementare), cu conductoare de secțiuni diferite	— Înfășurările de excitație compund ale mașinilor de curent continuu formate dintr-o înfășurare de excitație derivație sau separată (cu conductor de secțiune circulară) și o înfășurare de excitație serie (cu conductoare dreptunghiulare) ; — Înfășurările de excitație ale mașinilor de curent continuu cu excitații multiple (de exemplu generatorul de sudură de tip GES-350), cu bobinele elementare cu conductor de bobinaj circular, de secțiuni diferite.

9.1.2. Bobinele polare cu conductor rotund

Bobinele polare cu conductor subțire (sîrmă) pot fi bobine întregi (fig. 9.1, *a* și *b*) sau bobine secționate (fig. 9.1, c, *d* și *e*).

Forma bobinelor polare rezultă din modul în care sînt distribuite spirele pe straturi. Dacă numărul de spire pe toate straturile este același (w_{str}), bobina are forma reprezentată în fig. 9.1, *a* și se numește bobină dreaptă. Numărul total de spire w_p ale unei astfel de bobine este egal cu produsul dintre numărul de straturi (n_{str}) și numărul de spire pe strat (w_{str}) :

$$w_p = n_{str} \cdot w_{str} . \tag{9.1}$$

Astfel de bobine se folosesc în construcția înfășurării de excitație a mașinilor de curent continuu cu puteri peste 50 kW și cu turații mici precum și la mașinile sincrone cu un număr mare de poli (cu turații mici).

În construcția mașinilor de curent continuu de puteri mici și mijlocii, cum și în general în construcția tuturor mașinilor de curent continuu cu excitație independentă sau derivație sau a mașinilor sincrone de puteri pînă la 200 kVA și cu număr redus de poli la care se urmărește folosirea judicioasă a spațiului dintre miezurile polilor vecini, se folosesc bobine polare avînd forma constructivă similară celei reprezentate în fig. 9.1, *b* denumite bobine în trepte.

Dispunerea spirelor la o astfel de bobină se poate urmări în fig. 9.2 (spirele sînt numerotate în ordinea în care se bobinează). Numărul total de spire al bobinei este egal cu suma numerelor de spire așezate pe fiecare strat în parte. Pentru a se asigura bobinei o bună rigiditate mecanică, este necesar ca, la executarea ei, trecerea de la un strat la altul să se facă așa cum rezultă din fig. 9.2. La mașinile cu puteri mari, pentru a mări capacitatea de transmitere a căldurii datorită pierderilor în înfășurare, se recurge la formele constructive de bobine reprezentate în fig. 9.1, c, *d* și *e*, la care suprafața de răcire crește, bobina fiind secționată în mai multe bobine elementare între care sînt prevăzute canale de răcire.

La tipul reprezentat în fig. 9.1, c care constă din două bobine elementare concentrice, canalul de răcire pentru circulația aerului este lăsat în zona frontală a bobinei. Acest tip de bobină se utilizează în rotoare sau în mașinile cu ventilație radială puternică. În cazul mașinilor prevăzute cu ventilație axială, se recurge la tipul constructiv reprezentat în fig. 9.1, *d*, bobinele polare fiind împărțite într-un număr de două, trei sau mai multe bobine elementare, denumite *galeți*. Între galeți se pot prevedea distanțoare din tablă, ca în

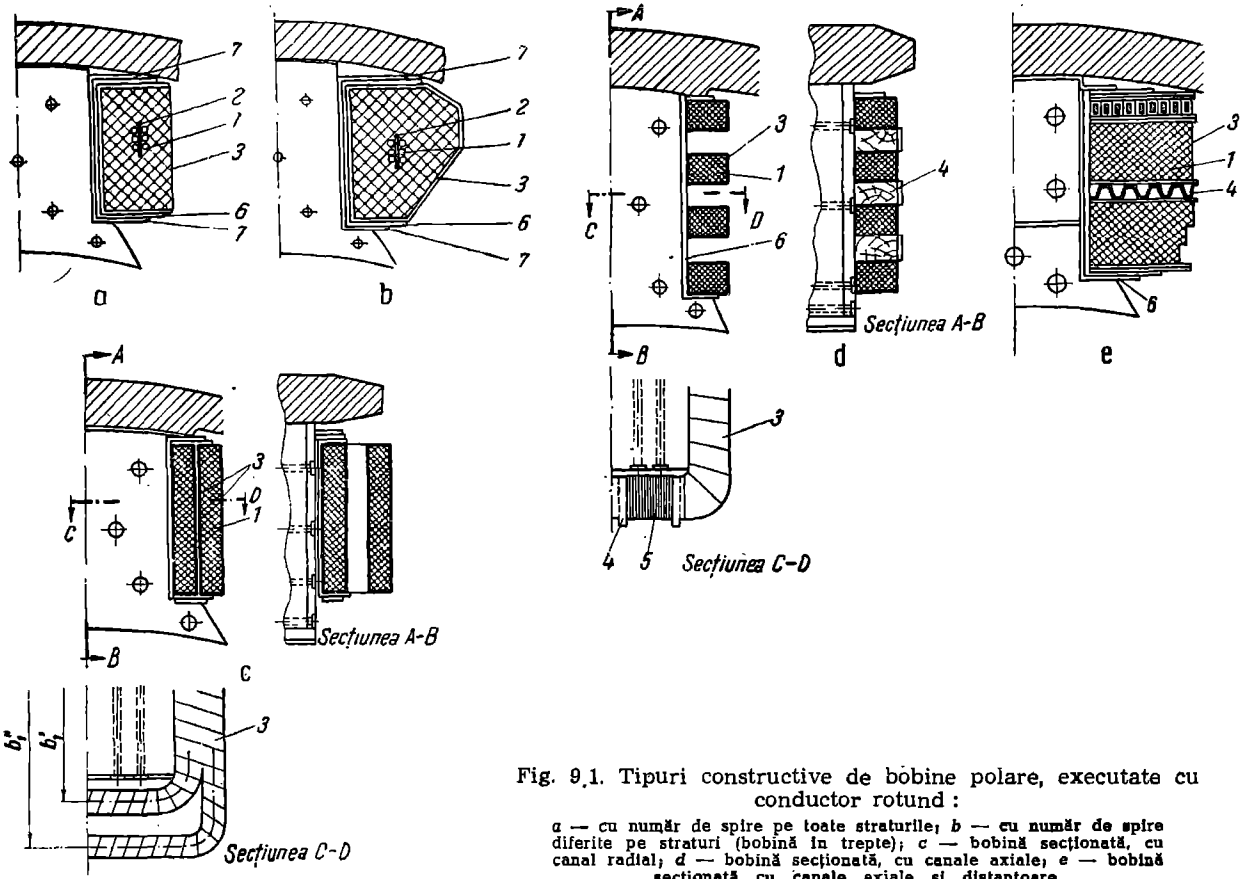


Fig. 9.1. Tipuri constructive de bobine polare, executate cu conductor rotund :

a — cu număr de spire pe toate straturile; *b* — cu număr de spire diferite pe straturi (bobină în trepte); *c* — bobină secționată, cu canal radial; *d* — bobină secționată, cu canale axiale; *e* — bobină secționată cu canale axiale și distanțoare.

fig. 9.1, *e*, sau dintr-un material izolant (lemn, pertinax etc.). Galeţii se execută de obicei ca şi bobinele de tipul reprezentat în fig. 9.1, *a* cu spirele distribuite în număr egal pe toate straturile.

În construcţia bobinelor polare realizate cu conductor rotund intervin o serie de elemente componente care ca formă constructivă şi ca funcţiune depind de tipul constructiv al bobinei şi de funcţiunile ei în maşină (fig. 9.1 şi 9.2) şi anume :

— conductorul de bobinaj *1* ;
— izolaţia între straturi *2* ;
— izolaţia la suprafaţa bobinei *3* ;
— distanţor *4* (numai la bobinele secţionate, de exemplu în fig. 9.1, *e*) ;
— bandaj pentru consolidare *5* ;
— carcasă (casetă) izolantă *6* ;
— carcasă (casetă) metalică *7* ;
— bornele *8* ale bobinei, care servesc la racordarea acesteia în circuitul înfăşurării.

Conductoarele de bobinaj 1 din cupru sau aluminiu ce se folosesc la aceste bobine au secţiunea de formă circulară (sîrme rotunde) pînă la 4—6 mm şi pînă la 3 mm diametru sau patrată (sîrme patrate) cu aria peste 4—6 mm^2.

Izolaţia acestora este de tipurile arătate în cap. 2 şi se stabileşte corespunzător clasei de izolaţie a înfăşurării sau maşinii.

Izolaţia între spire situate pe acelaşi strat este însăşi izolaţia conductorului de bobinaj.

Izolaţia între straturi 2 se utilizează cu un dublu scop şi anume : ca izolaţie electrică între conductoarele aparţinînd la două straturi vecine şi ca protecţie mecanică a stratului de spire inferior în timpul aplicării stratului superior de spire.

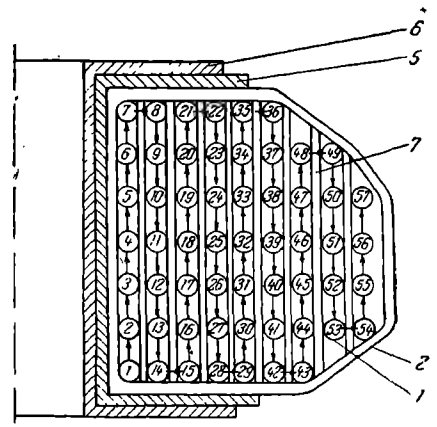


Fig. 9.2. Bobină polară în trepte ; elemente constructive şi dispunerea spirelor :

1 — conductor de bobinaj izolat; *2* — izolaţia exterioară a bobinei; *5* — carcasă (casetă) izolantă; *6* — carcasă (casetă) metalică; *7* — izolaţie între straturi.

După cum rezultă din fig. 9.3 tensiunea maximă dintre două straturi este egală cu tensiunea de spiră înmulţită cu numărul de spire cuprins în cele două straturi, între punctele vecine considerate.

Din punct de vedere mecanic, izolaţia dintre straturi are rolul de a proteja izolaţia conductorului de bobinaj în timpul operaţiilor de confecţionare şi manipulare a bobinei.

Pentru izolaţia între straturi se folosesc materiale electroizolante sub formă de foi (hîrtii, folii, ţesături), alegerea acestora făcîndu-se corespunzător clasei de izolaţie a bobinei.

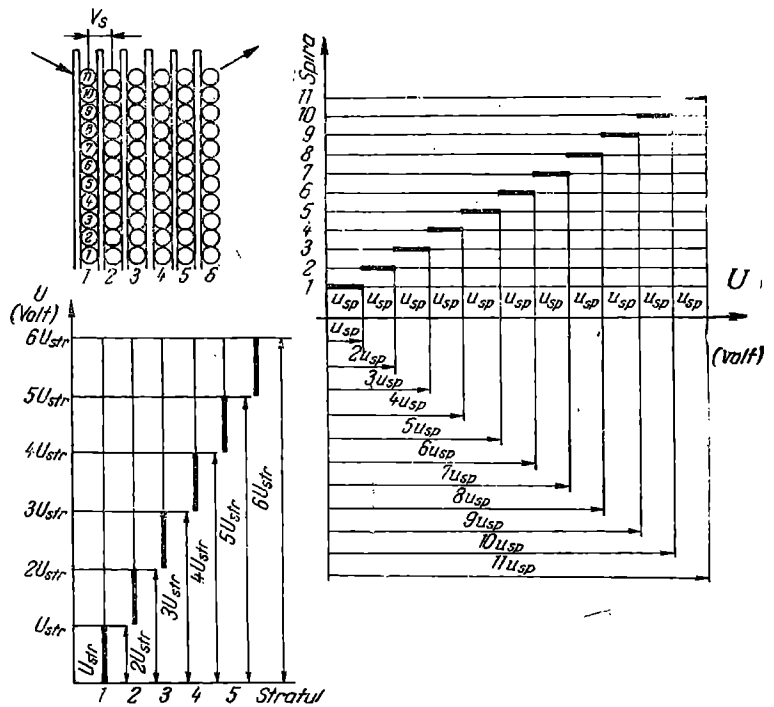


Fig. 9.3. Repartizarea tensiunii de-a lungul straturilor şi pe suprafaţa bobinei polare :

u_{sp} — tensiunea pe spiră; u_{str} — tensiunea pe strat; u_s — tensiunea pe suprafaţa bobinei (înată între straturi).

La alegerea materialului pentru izolaţia dintre straturi se ţine seama nu numai de tensiunea dintre două straturi vecine ci şi de condiţiile de executare a bobinei care sînt determinate în primul rînd de diametrul conductorului şi de metoda de confecţionare (cu mîna sau cu maşina).

În fig. 9.4 este redată recomandarea privind alegerea grosimii izolației din hîrtie în cazul executării bobinei cu o mașină de bobinat pentru diferite mărimi de conductoare.

Izolația exterioară a bobinei 2, avînd rol de protecție mecanică și electrică, se întîlnește de obicei în construcția bobinelor realizate cu conductor foarte subțire, a bobinelor mașinilor destinate să funcționeze în condiții de lucru grele (mașini navale, tracțiune etc.) sau atunci cînd se prevăd măsuri speciale de protecție constructivă (protecție climatică tropicală).

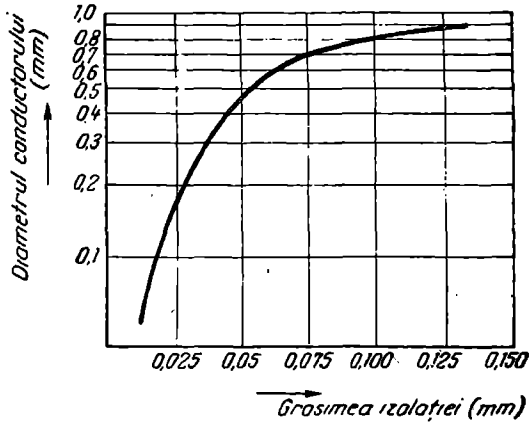


Fig. 9.4. Variația grosimii izolației de hîrtie dintre straturi, cu diametrul conductorului de bobinaj, în cazul bobinelor cu conductor rotund executat pe mașini de bobinat (valori informative, Micafil).

Izolația pe suprafața bobinei se realizează cu benzi din țesături (bumbac, mătase, fire sintetice) sau din foi izolante ; natura materialului benzilor se stabilește corespunzător clasei de izolație a bobinei.

Benzile electroizolante se așază jumătate suprapus, în unele cazuri deasupra ultimului strat de spire aplicîndu-se o izolație suplimentară din benzi textile.

Izolația bobinei față de miezul magnetic al polului este realizată de carcasa izolantă 6. În cazul bobinelor cu izolație exterioară continuă o parte din funcțiunile izolației față de miez este preluată de această izolație.

Principalele tipuri constructive de carcase izolante folosite în construcția mașinilor electrice sînt arătate în fig. 9.5 respectiv : carcasele închise (fig. 9.5, *a* folosite la bobine cu conductor subțire și cu spire multe, la mașinile de mică putere și la micromașinile electrice), carcasele semideschise (fig. 9.5, *b* folosite la bobinele înfășurărilor de excitație separată sau derivație la mașini de curent continuu cu puteri pînă la 50 kW) și carcasele deschise (fig. 9.5, c) de cele mai multe ori aplicate direct pe miezul polului (la bobinele cu izolație exterioară continuă și compundate, bobine cu conductor profilat).

Materialele utilizate pentru confecționarea acestor izolații sînt în general carton electrotehnic impregnat, pertinax, textolit, sticlotextolit, micanită, hîrtie de mică sau de azbest impregnată, folii sintetici, iar în cazul pieselor presate în forme, se utilizează prafuri de presare (pentru carcase mici).

Suportul mecanic necesar pentru rigidizarea bobinei cît și pentru o mai bună fixare a acesteia la montarea pe miezul polar se rea-

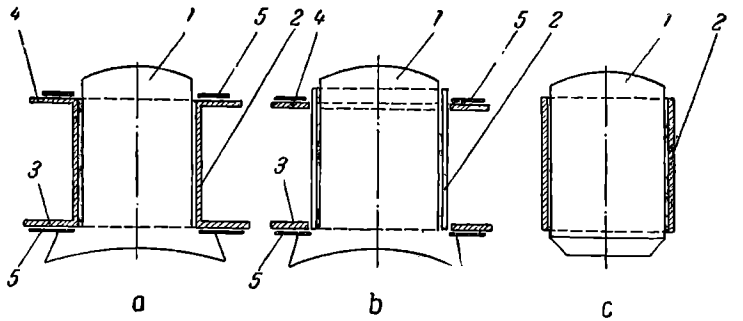


Fig. 9.5. Tipuri constructive de carcase (casete) izolante pentru bobinele polare :

a — carcasă închisă; *b* — carcasă semideschisă; *c* — carcasă deschisă (aplicată pe miezul polilor); *1* — miezul polilor; *2* — corpul izolant al carcasei; *3* — rama superioară; *4* — rama inferioară; *5* — ramă metalică de protecție.

lizează fie sub formă de carcasă (casetă continuă similară reprezentărilor din fig. 9.2 și 9.6, fie sub formă de rame, în special atunci cînd izolația bobinei față de miezul polar este aplicată direct pe acesta (v. fig. 9.5, c). Carcasele metalice complete se folosesc de obicei în cazul bobinelor realizate cu conductor foarte subțire sau în cazul bobinelor mașinilor destinate unor regimuri grele de lucru cînd formează un subansamblu rigid și complet.

9.1.3. Bobinele polare cu conductor dreptunghiular

Bobinele polare cu conductor dreptunghiular (profilat) au în general un număr de spire mai redus în raport cu bobinele polare cu conductor subțire.

Numărul total de spire este dispus de regulă într-un singur strat (v. fig. 9.7) sau într-un număr redus de straturi.

Conductorul se așază de obicei pe latura mică a secțiunii sale (fig. 9.8, *a* și fig. 9.9, *a*) spirele așezîndu-se una peste alta în sensul axial al bobinei. Se poate adopta însă și așezarea conductorului pe

latura mare (fig. 9.8, *b* și 9.9, *b*) spirele așezîndu-se una peste alta în sens radial, formînd galeți. În acest caz, însă, numărul de straturi este mai mare, iar consolidarea bobinei este ceva mai dificilă.

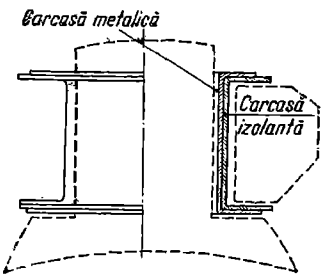


Fig. 9.6. Carcasă metalică și izolantă pentru bobine polare.

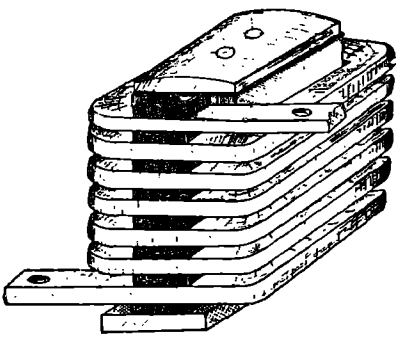


Fig. 9.7. Bobină polară într-un singur strat, din conductor dreptunghiular.

În cazul bobinelor în galeți, cînd numărul acestora este mai mare ca 2, se folosesc galeți răsturnați, așa cum se arată în fig. 9.8, *b*. În acest fel se evită legăturile de trecere de la interiorul unui galet la exteriorul galetului următor, cînd se înseriază galeții între ei.

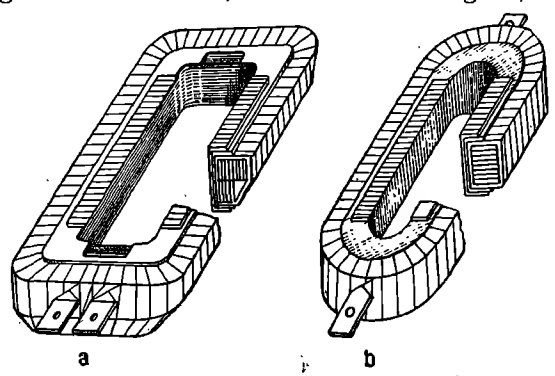


Fig. 9.8. Bobine polare executate cu conductor dreptunghiular :
a — cu conductor așezat pe muchie; *b* — cu conductor așezat pe lat.

Dacă numărul de straturi necesar depășește două straturi, se recurge la divizarea bobinei în bobine elementare coaxiale, forma constructivă a bobinei fiind similară acelora reprezentate în

fig. 9.1, c, pentru bobine cu conductor subțire. În aceste bobine, conductorul se așază de obicei pe latura mică.

În general elementele constructive componente ale bobinelor polare realizate cu conductor dreptunghiular nu diferă de acelea întîlnite

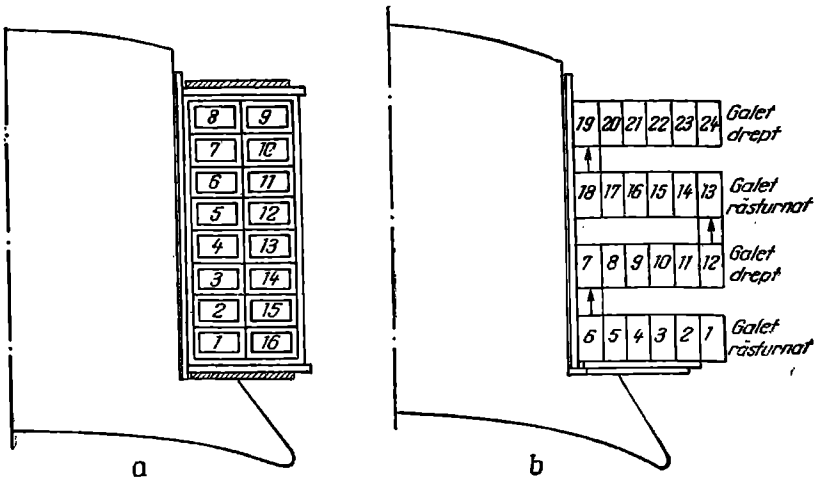


Fig. 9.9. Dispunerea conductorului dreptunghiular la realizarea bobinelor polare :

a — conductor așezat pe latura mică; *b* — conductor așezat pe lat la bobine realizate în patru galeți (doi drepți și doi răsturnați).

la bobinele polare cu conductor rotund, dispunerea și forma lor constructivă fiind însă determinate de secțiunea mare a conductoarelor de bobinaj.

În fig. 9.10 sînt indicate elemente constructive a căror denumire și numerotare este identică cu aceea folosită la bobinele cu conductor rotund (fig. 9.1).

De remarcat că în cazul utilizării conductoarelor dreptunghiulare de secțiune peste 20 mm^2, carcasa (caseta) metalică este în general redusă la ramele metalice 7 (v. fig. 9.10) avînd numai un rol protector (mecanic) la strîngerea și consolidarea bobinei pe miez, iar carcasa (caseta) izolantă 6 (v. fig. 9.10) se compune în aceste cazuri dintr-o izolație aplicată pe miezul polar și din ramele izolante plasate între bobină și ramele metalice 7 de strîngere.

Conductorul de bobinaj dreptunghiular 1 de cupru (foarte rar din aluminiu și numai la mașinile de curent continuu sau la mașinile sincrone de putere mică și construcție inversă) pot fi cu izolație pro-

prie sau neizolat. Conductoarele neizolate se folosesc de obicei atunci cînd bobina are spirele dispuse într-un singur strat. La bobinele cu mai multe straturi realizarea atît a izolației între spire cît și a izolației între straturi complică construcția și deci executarea bobinei. În aceste cazuri se folosesc de regulă conductoare izolate. Izolația conductoarelor dreptunghiulare poate fi din fire de sticlă sau alte fire vegetale, sau din email. La realizarea bobinelor tipul de izolație al conductoarelor se stabilește în funcție de clasa de izolație a înfășurării sau mașinii, conform indicațiilor date în cap. 2 și exemplelor din anexă.

Izolația între spire. În cazul conductoarelor izolate, izolația dintre spire este constituită de izolația proprie a conductorului ; în cazul conductoarelor neizolate, izolația dintre spire se realizează din materiale electroizolante sub formă de foi sau plăci. Dacă distanța între spire este suficient de mare, între spire se introduc distanțoare din loc în loc pe perimetrul spirei, realizîndu-se astfel izolația între spire. Materialele electroizolante se aleg conforme cu clasa de izolație și de obicei sînt cel puțin de clasa B (sticlotextolit, azbest, micanită), foarte rar materiale de clasa A sau E (prespan impregnat, pertinax, textolit).

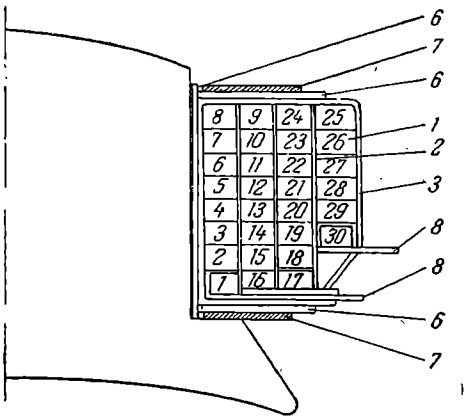


Fig. 9.10. Elementele constructive ale bobinei polare cu conductor dreptunghiular : *1* — conductor izolat; *2* — izolație între straturi; *3* — izolație la suprafața bobinei; *6* — izolație față de miezul polului (carcasa izolantă); *7* — rame metalice; *8* — bornele bobinei.

Izolația între straturi 2. Și la bobinele polare în mai multe straturi realizate cu conductor dreptunghiular, ca izolație între straturi, se folosesc materiale electroizolante sub formă de foi : micafoliu, țesături din fire de sticlă sau de azbest impregnate.

Izolația la suprafața 3 a bobinei se folosește în general la bobinele cu multe straturi și de dimensiuni relativ mici ; materialele utilizate sînt în general similare celor indicate pentru izolația la suprafață a bobinelor cu conductor rotund (§ 9.1.2).

Izolația față de miezul polului la bobinele polare cu conductor dreptunghiular se realizează de obicei, fie ca izolație aplicată direct pe miez, fie ca manșon (tub dreptunghiular) ce se introduce pe miezul

polului. În ambele cazuri se folosesc pentru confecționarea acestora materiale stratificate pe bază de hîrtie (pertinax), țesături (textolit, sticlotextolit) sau produse pe bază de mică (micafoliu, micanită).

9.1.4. Bobinele polare din două sau mai multe bobine elementare, din conductoare de secțiuni diferite

Asemenea bobine se întîlnesc în construcția mașinilor de curent continuu (generatoare și motoare) cu excitație compund sau a mașinilor de curent continuu cu mai multe înfășurări de excitație așezate pe aceleași miezuri polare și formînd circuite electrice separate între ele. În mod frecvent însă, astfel de înfășurări se întîlnesc în construcția mașinilor cu excitație serie și derivație.

În fig. 9.11 sînt reprezentate două tipuri de înfășurări, care diferă prin poziția pe care o ocupă pe pol cele două bobine *I* și *II*.

În unele construcții se realizează cele două bobine elementare coaxiale și anume : bobina serie în interior, bobina derivație spre

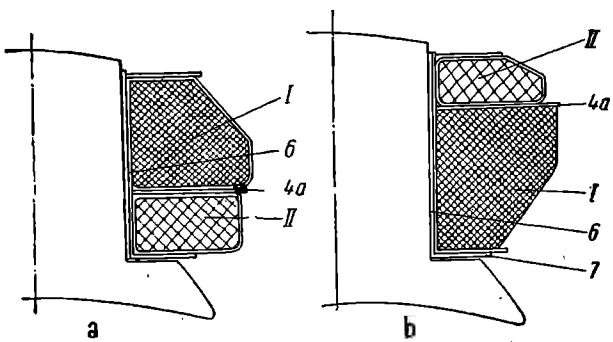


Fig. 9.11. Bobine polare realizate cu bobine elementare cu conductoare de secțiuni diferite, folosite în construcția mașinilor de curent continuu cu excitație compund :

I — bobina derivației; *II* — bobina serie; *4a* — izolație între bobine; *6* — izolația față de miezul polului; *7* — rama metalică.

exterior. Această formă constructivă nu este cea mai indicată, deoarece nu permite examinarea cu ușurință în exploatare și mai ales repararea comodă în caz de defectare. În sfîrșit, la unele mașini electrice, cele două bobine elementare sînt izolate împreună, formînd astfel o singură unitate constructivă. Nici această soluție nu este indicată datorită complicațiilor tehnologice în timpul execuției, lipsei

posibilității de control în exploatare și necesității de înlocuire completă în cazul defectării numai a unei singure bobine elementare.

Realizarea bobinelor polare cu două sau mai multe bobine elementare din conductoare de secțiuni diferite implică în plus față de bobinele cu un singur tip de conductor, o izolație între bobinele elementare (*4 a* în fig. 9.11).

Izolația între bobinele derivație și serie (*4 a* în fig. 9.11) se realizează fie din carton electrotehnic, fie dintr-un material presat (pertinax, textolit, sticlotextolit sau micanită).

9.1.5. Bornele bobinelor polare

Bornele bobinelor polare (denumite și ieșirile bobinelor) și prizele lor (dacă acestea există) trebuie să îndeplinească în general următoarele condiții :

— să realizeze un contact bun cu cablurile de conexiune, pentru care motiv se curăță bine și se cositoresc ;

— să nu producă scurtcircuite între spirele pe lîngă care trec ;

— să fie ușor accesibile montajului cablului de legătură ;

— să reziste la eforturile mecanice care se produc în timpul manipulării și montajului bobinelor și respectiv al mașinii, precum și la eforturile ce apar în timpul funcționării mașinii.

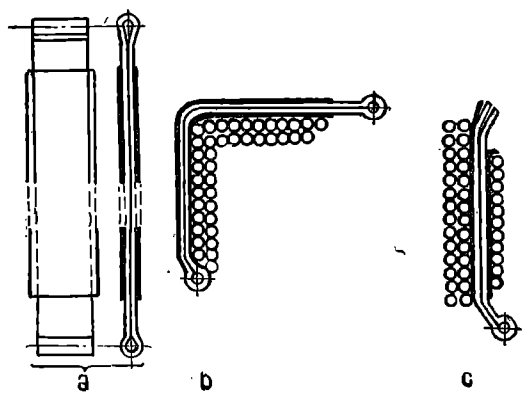


Fig. 9.12. Bornele și scoaterea lor la bobine polare confecționate cu conductor rotund.

La bobinele polare din conductor rotund, bornele bobinelor se realizează fie din însuși conductorul utilizat (capete lăsate mai lungi), fie prin lamele de contact special aplicate la capetele bobinei (v. figura 9.12), fie prin cabluri flexibile îmbinate prin papuci speciali cu capetele bobinei (v. fig. 9.13), acestea servind atît pentru executarea conexiunilor între bobine cît și ale înfășurării la bornele mașinii.

Executarea ieșirilor prin lăsarea de capete mai lungi are avantajul de a elimina introducerea de contacte suplimentare în circuitul

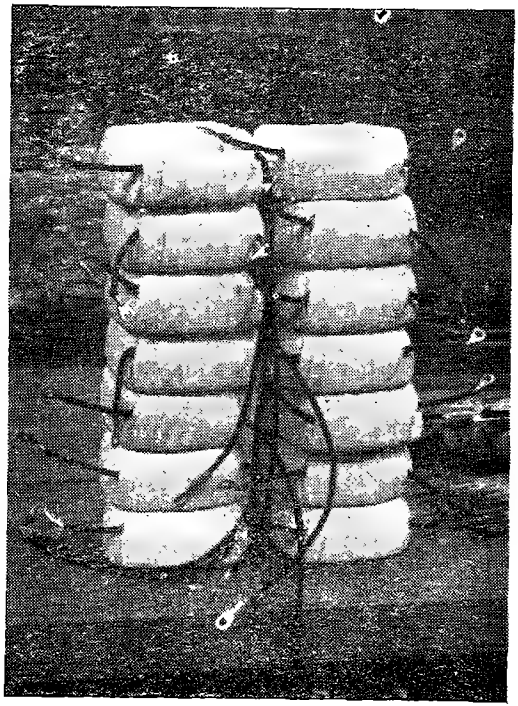


Fig. 9.13. Bobine polare avînd ieșirile realizate cu cabluri flexibile.

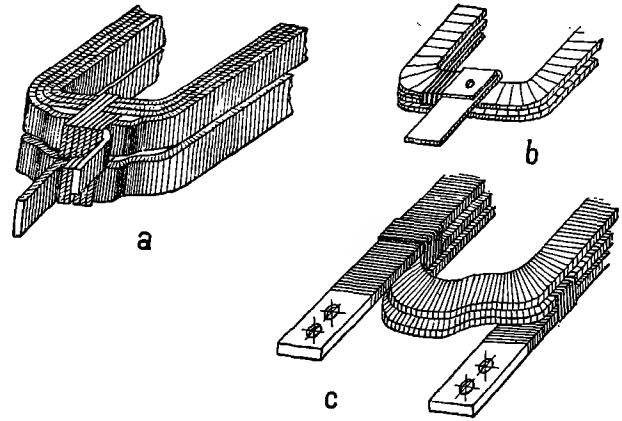


Fig. 9.14. Bornele bobinelor polare confecționate din conductor dreptunghiular :

a — conductor așezat pe lat; *b*, *c* — conductor așezat pe latura mică.

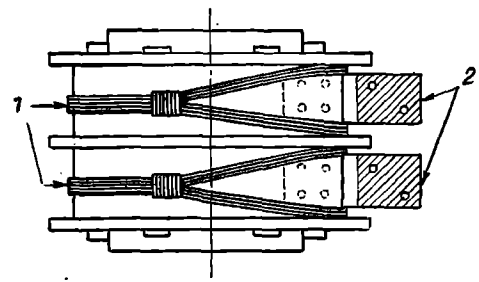


Fig. 9.15. Bobină polară pentru pol auxiliar executat din conductor bandă, așezată direct pe miezul polului și consolidată cu bandaj :

1 — bandaj de sfoară; 2 — bornele bobinei.

înfășurării. Acest sistem are însă dezavantajul că nu rezistă la manipulări repetate.

La executarea bornelor cu bandă de tablă (ca în fig. 9.11) se utilizează pentru izolare fie materiale izolante sub formă de foi sau benzi, fie tuburi izolante din material plastic sau din țesături impregnate (bumbac, fire de sticlă).

În cazul bobinelor din conductor dreptunghiular, ieșirile se realizează prin capetele primei și ultimei spire în prelungire, așa cum este reprezentat în figurile 9.14 și 9.15, fără a exista riscul arătat în cazul folosirii de conductoare rotunde.

La aceste bobine polare bornele se consolidează fie prin aplicarea de bandaje din sîrmă (așa cum se arată în fig. 9.15) fie cu bandă textilă, rigidizîndu-se ultima spiră de spirele vecine (v. fig. 9.8), fie în cazul bobinelor de dimensiuni mari, prin așezarea unei mufe care îmbrățișează capătul bobinei și utimele două spire, fiind izolată de acestea.

9.1.6. Execuția bobinelor polare

Fazele de lucru la confecționarea bobinelor polare sînt următoarele :

— confecționarea izolațiilor ;
— executarea bobinei ;
— izolarea bobinei ;
— impregnarea bobinei ;
— montarea bobinei în carcasa de protecție (dacă există).

La executarea carcaselor izolante trebuie avute în vedere : stabilirea materialelor (natura, dimensiuni, cantități) procedeele de lucru, dispozitivele și sculele de lucru, dimensiunile piesei rezultate pentru a corespunde ansamblului bobinei polare.

Pentru executarea carcaselor închise se procedează astfel :

— Ramele izolante superioară și inferioară se decupează interior și exterior, manual (cu foarfece) sau prin ștanțare pe o presă cu excentric, rezultînd o piesă ca aceea reprezentată în fig. 9.16, *a 1*. Prin îndoirea umerilor de fixare manual sau chiar pe presa de ștanțare (dacă ștanța este prevăzută și cu dispozitiv de îndoire) se obține rama finită ca în fig. 9.16, *a 2*.

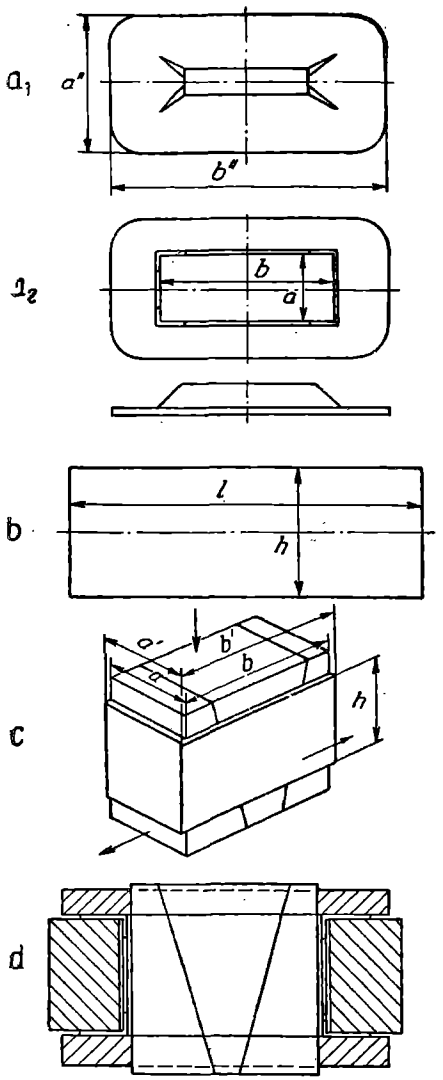


Fig. 9.16. Confecționarea casetelor izolante închise :

a1 — ramă izolantă și ștanțată; *a2* — ramă izolantă finită; *b* — bandă izolație pentru corpul izolant; *c* — corp izolant pe șablon de formare; *d* — carcasa închisă cu dispozitivele de presare.

— Corpul izolant se obține din benzi de material izolant, de lățime egală cu înălțimea carcasei, iar de lungime (l în figura 9.16, *b*) determinată de grosimea finală necesară, grosimea materialului și dimensiunile interioare ale carcasei.

Notînd cu d grosimea finală necesară a carcasei, λ — grosimea materialului și folosind notarea dimensiunilor din figura 9.16, c rezultă :

— numărul de straturi :

$$n_{str} = \frac{d}{\lambda};$$

— lungimea l a benzii :

$$l = 2n_{str}\left[\frac{a+a'}{2} + \frac{b+b'}{2}\right]. \quad (9.2)$$

Formarea corpului se realizează pe un șablon metalic compus din trei părți ce se așază între ele pe suprafețe în unghi (pană) pentru a permite presarea piesei (v. fig. 9.16, c) la rularea materialului izolant se folosește un lac electroizolant de încleiere. Pentru asigurarea așezării corecte a straturilor se efectuează succesiv călcarea materialului.

Asamblarea carcasei închise se face cu dispozitive de asamblare de tipul celor reprezentate în fig. 9.16, *d*, scoaterea din dispozitiv avînd loc numai după tratarea termică a ansamblului, pentru ca lacul de încheiere folosit să fie bine polimerizat.

În cazul carcaselor închise secționate (v. fig. 9.17) de dimensiuni mici, acestea se pot realiza din material stratificat (pertinax, textolit etc.).

La executarea carcaselor semideschise operațiile sînt similare una din rame, de obicei cea inferioară (dinspre jugul polului) aplicîndu-se la montarea bobinei pe miez. Această ramă se ștanțează uneori și fără umerii de fixare.

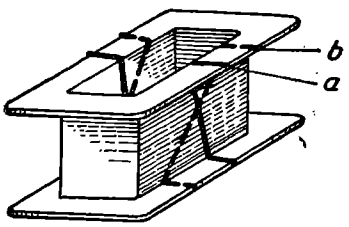


Fig. 9.17. Carcasă (casetă) izolantă rigidă (tare) secționată în sens axial (*a*) sau oblic (*b*).

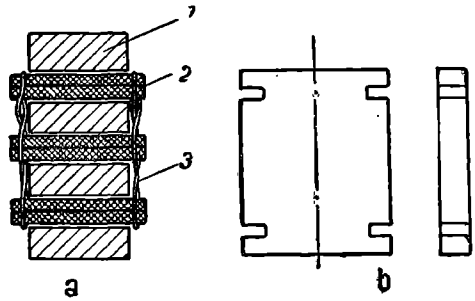


Fig. 9.18. Izolația între spirele unei bobine de pol auxiliar:
a — așezarea și consolidarea izolației între spire; *b* — distanțorul izolant; *1* — conductorul; *2* — distanțorul izolant; *3* — sfoară.

Izolația între spire la bobinele polare din conductor profilat sau bandă, așezat pe cant, și avînd spirele aplicate una peste cealaltă, se realizează din materialul indicat, sub formă de foaie (placă) prin decuparea manuală sau prin ștanțarea conturului necesar.

În cazul înfășurărilor realizate cu conductoare de secțiune mare, neizolate, izolația între spire se asigură prin introducerea între acestea de distanțoare izolante așa cum este prezentat în fig. 9.18, *a* și *b*.

Forma distanțoarelor executate din lemn, pertinax, textolit sau porțelan electrotehnic, permite solidarizarea spirelor între ele prin legare cu sfoară de cînepă, de azbest, sau din fire de sticle; prin această operație bobina devine rigidă.

Executarea bobinelor polare cu conductor rotund; șabloane, dispozitive, mașini de bobinat

La executarea bobinelor cu conductor rotund se așază spirele în straturi, intercalînd între ele izolația prevăzută, etapele de lucru fiind acelea reprezentate în fig. 9.19.

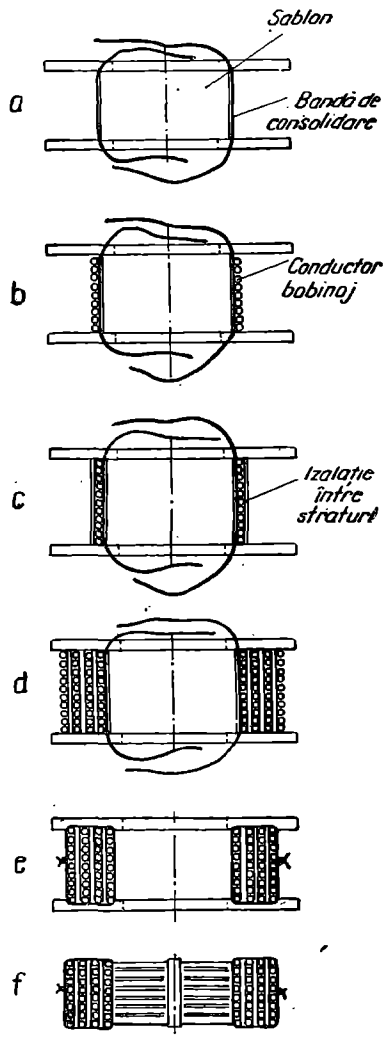


Fig. 9.19. Execuţia bobinelor polare cu conductor rotund :
a — dispunerea benzilor de consolidare; *b* — aşezarea primului strat de spire; *c* — aşezarea primei izolaţii între straturi; *d* — bobina pe şablon; *e* — bobina consolidată pe şablon; *f* — bobină consolidată.

Executarea bobinelor poate fi făcută fie manual, fie cu dispozitive mecanice sau cu maşini de bobinat, alegerea uneia sau alteia dintre metode depinzînd de numărul de spire pe bobină, de tipul carcasei (casetei) izolante şi de numărul de bobine ce trebuie executate. Cu cît numărul de spire este mai mare, şi cu cît numărul de bobine este mai mare, cu atît este mai indicată executarea acestor bobine cu dispozitive sau cu maşini de bobinat.

La executarea manuală a bobinelor, spirele acesteia sînt aşezate în straturi folosind şabloane de bobină, similare celei reprezentate în fig.9.20. Plăcile *2* şi *3* se pot aplica pe diferite miezuri *1* ale căror dimensiuni trebuie să corespundă dimensiunilor bobinelor. Cînd bobinele sînt prevăzute cu carcase izolante rigide, acestea pot servi de şablon. Acest procedeu se aplică numai în cazul reparaţiilor sau atunci cînd trebuie executate numai un număr extrem de redus de bobine.

Dispozitivele folosite la confecţionarea bobinelor cu spire multe, cu conductor rotund dau o mişcare de rotaţie şablonului, permiţînd astfel dispunerea spirelor una lîngă alta.

În fig. 9.21 este reprezentată schema cinematică a unui dispozitiv pentru executarea manuală a bobinelor cu multe spire *(a)*, sau cu ajutorul unui dispozitiv cu pedală pentru acţionarea cu piciorul *(b)*, (c).

Se poate prevedea ca sistemul de roţi r_1, r_2 (fig. 9.21, *d*) să se poată schimba, alegîndu-se în funcţie de diametrul conductorului, un raport optim de transmitere a mişcării. Astfel, pentru diametrul de sîrmă

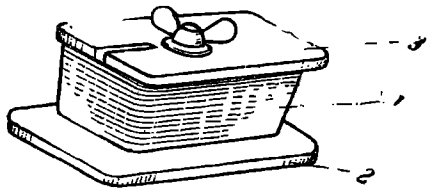


Fig. 9.20. Şablon pentru executarea manuală a bobinelor polare cu conductor rotund :

1 — miezul şablonului; *2, 3* — plăci de strîngere.

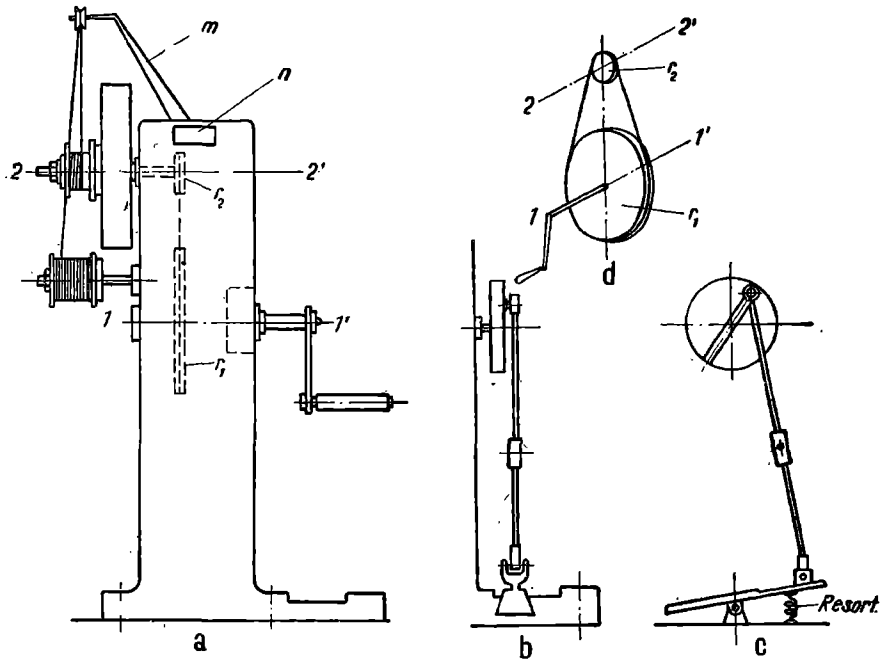


Fig. 9.21. Dispozitiv pentru executarea manuală a bobinelor polare cu conductor rotund :

a — schiţa dispozitivului; *b*, c — dispozitiv cu pedală pentru acţionare cu piciorul; *d* — schema cinematică a transmisiei mişcării la axul bobinei.

cuprins între 0,1 și 0,3 mm se recomandă ca raportul între diametrul roților r_1 și r_2 să fie 1/5; pentru diametre sub 0,1 mm se poate merge pînă la raportul 1/10.

Mașinile de bobinat realizează mișcarea de rotație a șablonului cu ajutorul unui motor electric de antrenare așa cum este reprezentat în fig. 9.22. Construcția mașinilor de bobinat este adaptată tipurilor de bobine. Astfel în fig. 9.23 este reprezentată o mașină de bobinat Micafil tip OPA-TS pentru bobine polare de înălțimi pînă la 110 mm și conductor cu diametrul maxim de 0,6 mm. Pentru bobine de dimensiuni mai mari și pentru conductoare de bobinaj peste 0,5 mm se folosesc mașini de bobinat de tipul celei reprezentate în fig. 9.24.

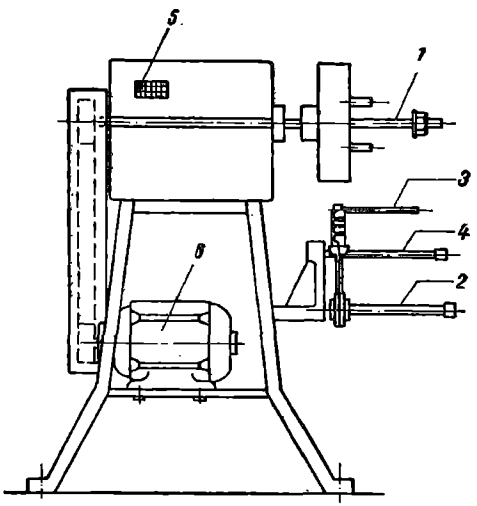


Fig. 9.22. Schiță de principiu a unei mașini pentru confecționarea bobinelor polare cu conductor rotund:

1 — dispozitivul de fixare a șablonului bobinei; *2* — suport pentru tamburul cu conductor; *3* — întinzătorul firului; *4* — suport pentru materialul izolant; *5* — numărător de spire; *6* — motor de antrenare.

Șabloanele folosite la confecționarea bobinelor cu ajutorul dispozitivelor sau mașinilor de bobinat diferă de acelea folosite la execuția manuală în principal prin aceea că permit fixarea în suportul dispozitivului sau mașinii de bobinat. În fig. 9.25 sînt arătate două tipuri de șabloane pentru bobine întregi *(a)* și pentru bobine secționate *(b)*.

Șablonul se compune din: miezul șablonului *1* care reproduce aproximativ miezul polar și plăcile inferioară și superioară. Miezul șablonului nu se execută cu pereții laterali paraleli, ci, pentru a ușura scoaterea bobinei, pereții săi au o mică înclinare, unghiul folosit fiind de aproximativ 3—5°. Șabloanele se confecționează din lemn de esență tare sau din metal.

În cazul în care construcția bobinelor nu permite folosirea șablonului cu pereți înclinați, pentru ușurarea scoaterii sale din bobină, miezul se execută din bucăți în formă de pană, așa cum este exemplul reprezentat în fig. 9.26. Pentru asamblarea acestui tip de miez și rigidizarea sa în vederea executării bobinei se folosește pana notată cu *3* în fig. 9.26 (cu *1*, respectiv *2* s-au notat miezurile șablonului).

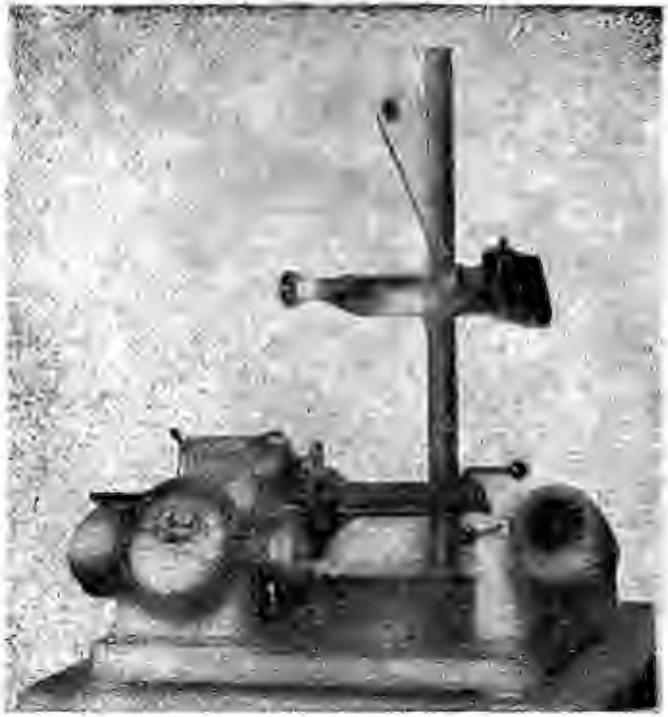


Fig. 9.23. Mașină automată pentru confecționarea bobinelor polare cu conductor rotund, tip OPA-TS (Micafil-Elveția).

Fig. 9.24. Mașină pentru confecționarea bobinelor polare cu conductor rotund, pentru bobine de dimensiuni mari.

Întrucît după executare bobina nu este suficient de rigidă, iar la scoaterea ei de pe șablon există riscul ca să se deformeze prin alunecarea spirelor între ele sau chiar să se desfacă, bobina se consolidează din loc în loc prin legături din sfoară sau bandă albă, așa cum se

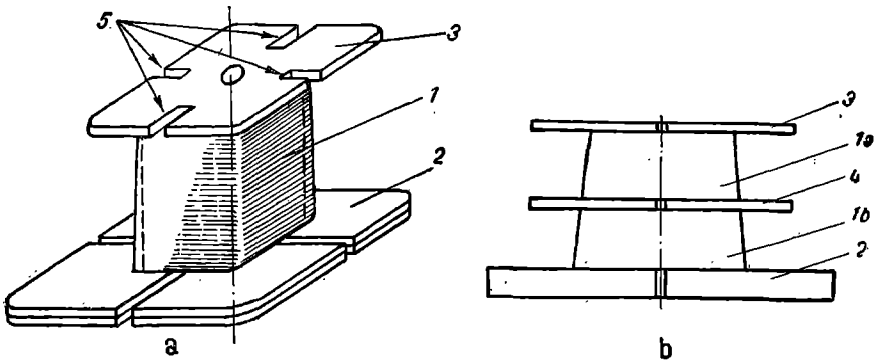


Fig. 9.25. Tipuri de șabloane folosite pentru confecționarea bobinelor polare cu conductor rotund, cu ajutorul dispozitivelor sau mașinilor de bobinat:

a — șablon pentru o bobină simplă; *b* — șablon pentru o bobină secționată; *1, 1a, 1b* — miezuri ale șablonului; *2* — placa inferioară (de bază) a șablonului; *3* — placa superioară a șablonului; *4* — perete intermediar; *5* — crestături pentru introducerea legăturilor de consolidare.

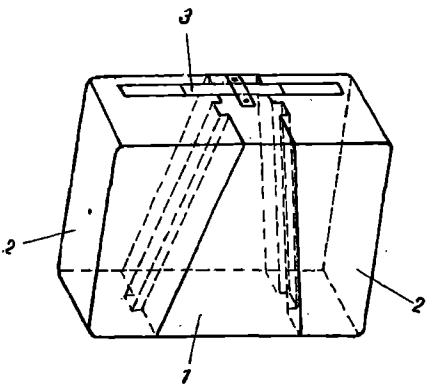


Fig. 9.26. Miez de șablon cu pereți paraleli, executat din trei bucăți.

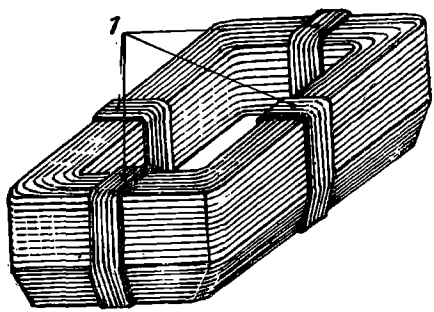


Fig. 9.27. Consolidarea bobinei polare executată pe șablon:

1 — legături din sfoară sau bandă albă.

arată în fig. 9.27, legături care sînt provizorii și pentru executarea cărora pereții frontali ai șablonului au practicate degajările notate cu 5 în fig. 9.25, *a*.

Confecționarea bobinelor secționate în mai multe bobine elementare, cum este cazul reprezentat în fig. 9.1, *d* se execută cu același

tip de șablon, prevăzut cu o ramă intermediară, așa cum este reprezentat în exemplul din fig. 9.28. Rama intermediară *1* este prevăzută cu o crestătură *2*, în care se introduce un ochi al conductorului de bobinaj, astfel încît atunci cînd se începe rotirea șablonului, se depun simultan spire în ambele jumătăți ale șablonului. Întrucît modul de depunere a spirelor este diferit în cele două secțiuni de bobină, la montarea acestora pe miezul polului, una din bobinele elementare se întoarce cu 180°.

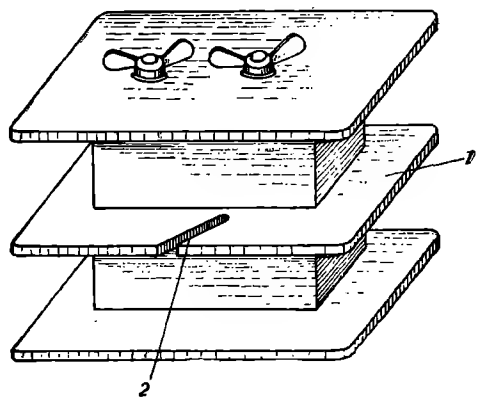


Fig. 9.28. Șablon pentru bobine secționate.

Execuția bobinelor polare cu conductor dreptunghiular

Bobinele polare cu conductor dreptunghiular se execută fie cu dispozitive, fie cu mașini de bobinat, date fiind în general eforturile mari necesare la realizarea spirelor bobinei. Pentru aceste bobine se folosesc șabloane de tipul celui reprezentat în fig. 9.29 și care, spre deosebire de șabloanele ce se folosesc pentru bobinele cu conductor rotund, sînt mai robuste. Pentru scoaterea ușoară a miezului șablonului, acesta este secționat după un plan înclinat.

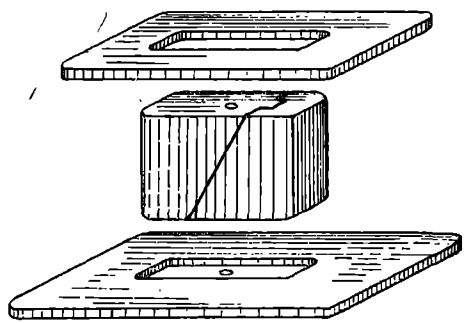


Fig. 9.29. Șablon pentru executarea bobinelor polare cu conductor dreptunghiular.

În cazul așezării conductorului pe lat, executarea bobinelor în galeți legați este arătată în fig. 9.30. Așa cum rezultă din această figură, primul galet, conținînd spirele *1*, *2*, *3* și *4* se obține prin *răsturnarea* spirelor respective (se execută spirele unele peste altele, apoi se desfac și se înfășoară în interior).

Se execută trecerea în S la galetul al doilea (fig. 9.30, *b*). Galetul al doilea se obține prin așezarea spirelor unele peste altele.

La bobinele executate cu galeți complet separați (fig. 9.31) legătura între aceștia se face în exterior.

În fig. 9.32 este reprezentată executarea bobinelor polare cu conductor dreptunghiular cu mai multe straturi. Legătura între straturi se face prin treceri în S culcat.

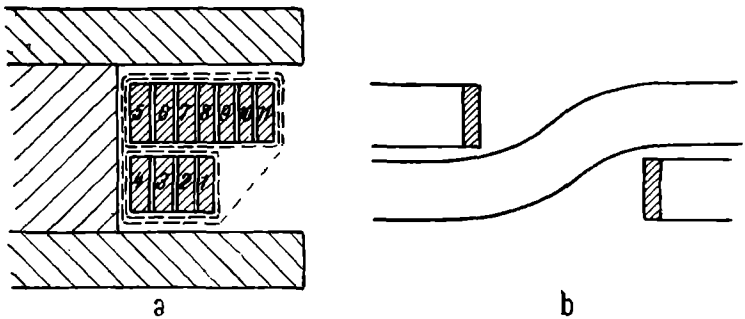


Fig. 9.30. Executarea bobinelor polare din conductor dreptunghiular pe lat, spirele fiind așezate în galeți :
a — ordinea spirelor; *b* — trecerea în S de la un galet la altul.

În timpul executării bobinei se introduce între fiecare două straturi izolația pregătită anterior, după care se continuă bobinarea, iar bobina astfel confecționată și consolidată cu legături provizorii (pentru a împiedica desfacerea spirelor) este gata pentru izolare.

La confecționarea bobinelor cu conductor dreptunghiular așezat pe muchie pentru ca deformarea barelor să fie redusă la minimum în timpul operației de formare a spirelor, se utilizează șabloane speciale, de tipul aceluia reprezentat în fig. 9.33 prevăzute cu ghidarea conductorului. Întrucît totuși conductorul se deformează în timpul executării bobinelor, astfel încît spirele nu mai sînt plane (fig. 9.34, *a*), iar în porțiunea din interiorul spirelor apar îngrămădiri de material, (v. fig. 9.33) după formarea spirelor, se trece la îndreptarea și ajustarea acestora. Îndreptarea se execută pe prese sau manual, așa cum este arătat în fig. 9.34, *b* și *c*. La îndreptarea pe presă, se introduc între spirele bobinei discuri sau plăci de oțel perfect plane.

După operația de îndreptare denivelările sau bavurile se înlătură cu hîrtie sticlată. După ce spirele au fost îndreptate și curățate se

verifică dimensiunile lor și dacă acestea nu corespund se execută o aducere la dimensiuni, folosind un dispozitiv similar celui reprezentat în fig. 9.35. Această operație se numește *calibrare*.

Introducerea penei dispozitivului de calibrare se poate face prin batere cu ciocanul, sau cu ajutorul unei prese de mînă mecanice.

În cazul secțiunilor mari bobinele din conductor dreptunghiular se execută cu ajutorul mașinilor, deoarece efortul necesar pentru confecționarea spirelor este mare. Mașinile folosite în acest scop se aseamănă foarte mult cu strungurile, din care cauză ele se mai numesc și strunguri pentru bobinat. În fig. 9.36 este reprezentată o astfel de mașină. În atelierele de bobinaj din exploatare și întreținere se pot folosi, în scopul confecționării bobinelor din conductor dreptunghiular, strunguri modificate, modificarea constînd în principal în adaptarea pe sanie, care nu mai este acționată de axul de avans normal al strungului, a unui dispozitiv pentru depunerea ordonată a spirelor.

Fig. 9.31. Bobine polare (compuse din cîte doi galeți) executate cu conductor de secțiune dreptunghiulară așezat pe lat.

În cazul confecționării de bobine din conductor de secțiune mare, așezat pe muchie, sau din bandă, trebuie evitată deformarea conductorului în timpul formării spirelor.

O astfel de mașină folosită în special pentru conductor de cupru-bandă este aceea reprezentată în fig. 9.37 (tip HWB Micafil Elveția), iar în fig. 9.38 este arătată o astfel de bobină realizată de mașină.

O astfel de mașină este indicată a fi utilizată în special pentru conductoare cu dimensiuni de $(1 \ldots 7) \times 60$ mm și secțiuni pînă la 420 mm^2, dimensiunile principale ale bobinelor polare ce se pot exe-

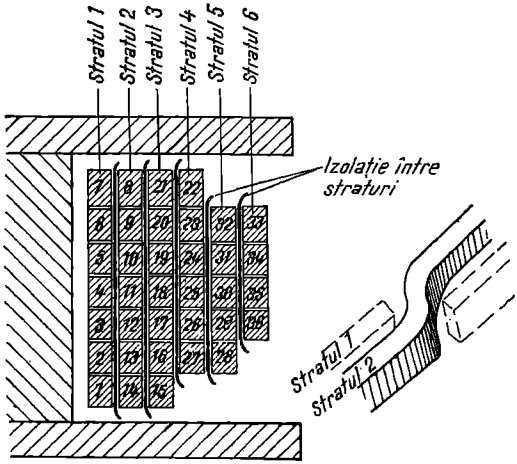


Fig. 9.32. Executarea bobinelor polare cu conductor dreptunghiular așezat pe lat, spirele fiind așezate în straturi concentrice :
a — trecerea de la un strat la altul.

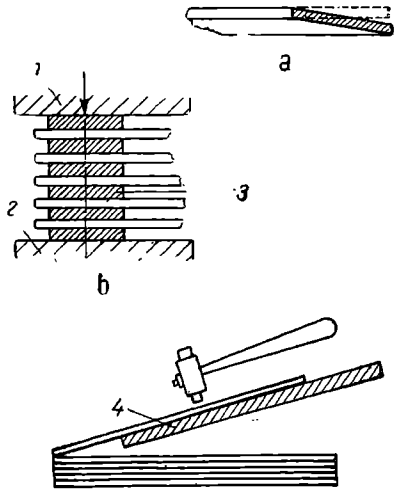


Fig. 9.34. Îndreptarea spirelor bobinelor polare executate cu conductor dreptunghiular așezat pe muchie :
a — spira, la scoaterea ei de pe șablon; *b* — îndreptarea pe presă între discuri metalice; *c* — îndreptarea manuală a spirelor;
1 — berbecul presei; *2* — masa presei; *3* — discuri metalice; *4* — placă de oțel.

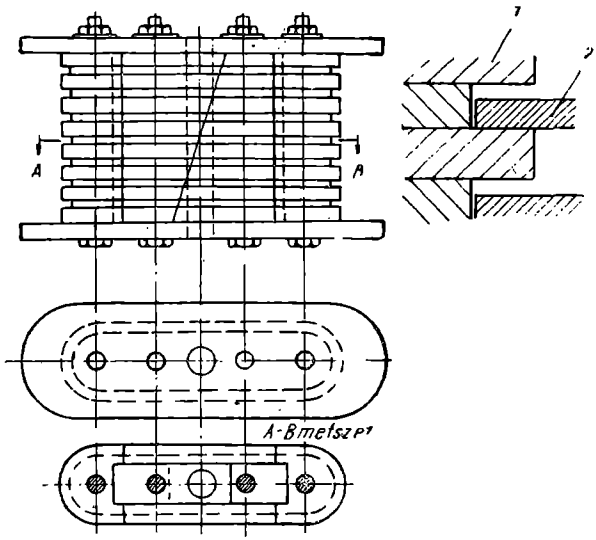


Fig. 9.33. Șablon metalic pentru confecționarea bobinelor polare cu conductor dreptunghiular așezat pe muchie.

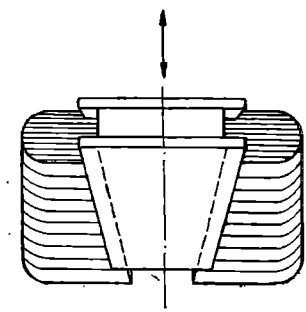


Fig. 9.35. Dispozitiv pentru întinderea (calibrarea) și îndreptarea bobinelor din conductor dreptunghiular.

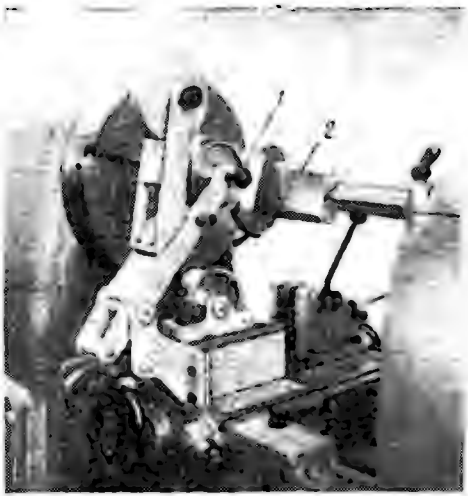


Fig. 9.36. Mașină pentru confecționat bobine polare din conductor dreptunghiular, cu șablonul pentru așezarea conductorului pe lat :

1 — spirele bobinei; *2* — șablonul.

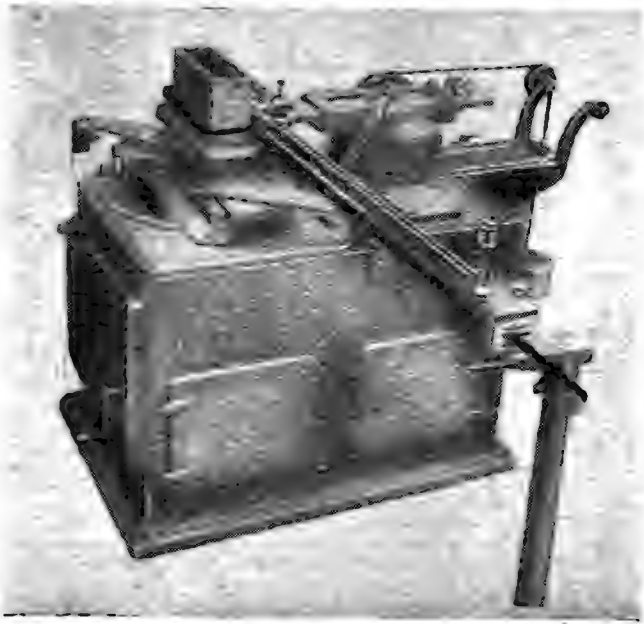


Fig. 9.37. Mașină de confecționat bobine polare din conductor bandă, dispus pe muchie (tip HWB, Micafil-Elveția).

cuta în funcție de lățimea b a conductorului (v. fig. 9.39) determinîndu-se cu ajutorul următoarelor relații :

$R_{min} = 1{,}8\ b$; $\quad R_{max} = 500$ mm

$B_{min} = 3{,}5\ b$; $\quad B_{max} = 700 + 0{,}62\ R$

L_{max} (pentru $C_{max} = 1\ 000$ mm) $= 1\ 000 + B$

L_{max} (pentru $C_{max} = 2\ 000$ mm) $= 2\ 000 + B$

$L_{min} = 440 +$ (execuție specială).

În construcția înfășurărilor polare ale mașinilor sincrone de putere mijlocie (pînă la 1 000 kW) și turații reduse, se folosesc bobine din bandă de cupru cu raport mare între lățimea și grosimea benzii. Aceste bobine se realizează din tablă de cupru, de grosimea necesară, din care se decupează spirele (manual sau prin ștanțare) ; spirele se conectează în serie prin sudare (sau lipitură tare). La executarea acestor bobine, o mare atenție trebuie dată atît curățirii foarte bune a

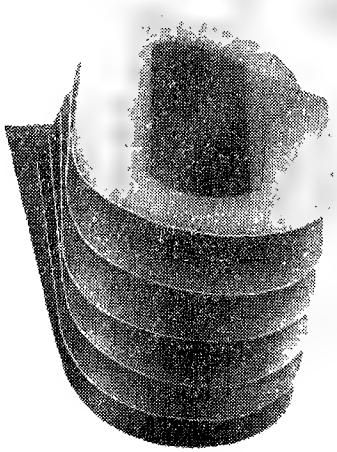


Fig. 9.38. Bobină polară din conductor bandă, realizată cu ajutorul mașinii HWB (Micafil-Elveția).

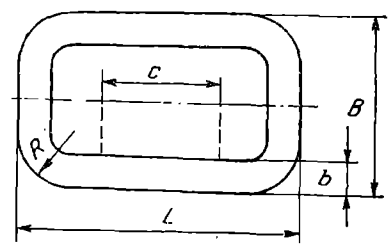


Fig. 9.39. Dimensiunile principale ale bobinii realizate cu conductor dreptunghiular foarte lat, așezat pe muchie, la executarea pe mașină.

zonei de sudură (lipire) de scorii rezultați (zgură sau decapant), cît și aducerii la grosime (prin ajustare) a acestei zone a spirei.

Izolarea bobinelor

Unele bobine polare se izolează complet pe toată suprafața și după toate operațiile de impregnare și acoperire formează un produs finit complet, care la montarea pe mașină nu mai suportă nici o altă ope-

rație decît introducerea pe miezul polului. Izolarea completă se face îmbrăcînd bobina cu bandă neimpregnată jumătate suprapus în mai multe straturi, așa cum este reprezentată în fig. 9.40. Numărul straturilor ca și tipul materialului se alege în funcție de clasa de izolație și de condițiile de mediu în care va funcționa mașina. Întrucît grosimea stratului izolant aplicată poate împiedica pătrunderea lacului de

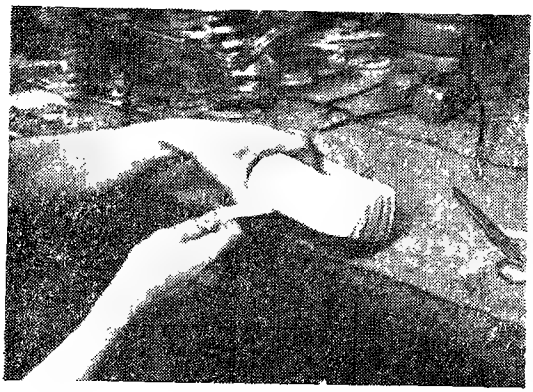


Fig. 9.40. Aplicarea benzii albe izolante pe suprafața bobinei polare.

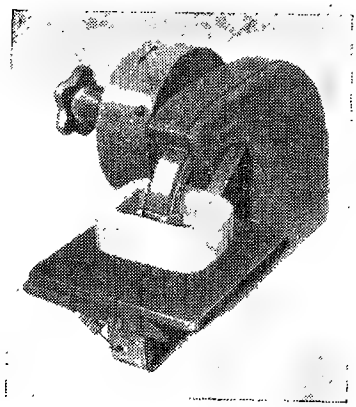


Fig. 9.41. Mașină pentru aplicarea izolației la suprafața bobinelor polare.

impregnare în interiorul bobinei (între spire), este bine ca izolarea pe suprafață a bobinelor să fie precedată de impregnarea acesteia. De asemenea se obișnuiește ca pe fiecare strat de bandă să se aplice cu pensula o peliculă de lac de impregnare.

În cazul fabricației de serie mare, în întreprinderi, izolarea bobinelor se realizează cu ajutorul unor mașini speciale, de tipul aceleia reprezentate în fig. 9.41.

9.2. ÎNFĂȘURĂRI CONCENTRATE DISPUSE ÎN CRESTĂTURI

Înfășurările concentrate așezate în crestături se întîlnesc la mașinile sincrone, pentru realizarea polilor înecați și la mașinile de curent continuu la înfășurările de compensație dispuse în crestăturile pieselor polare.

Înfășurările polilor înecați ai mașinilor sincrone se realizează cu conductor de secțiune dreptunghiulară, sau conductor rotund. În ge-

neral aceste înfășurări de excitație se întîlnesc la mașinile cu puteri mari și cu turații de 3 000 și 1 500 rot/min și sînt realizate cu conductoare de secțiune dreptunghiulară, așezate în crestături repartizate pe periferia miezului magnetic al rotorului mașinii, ca în exemplele reprezentate în fig. 9.42.

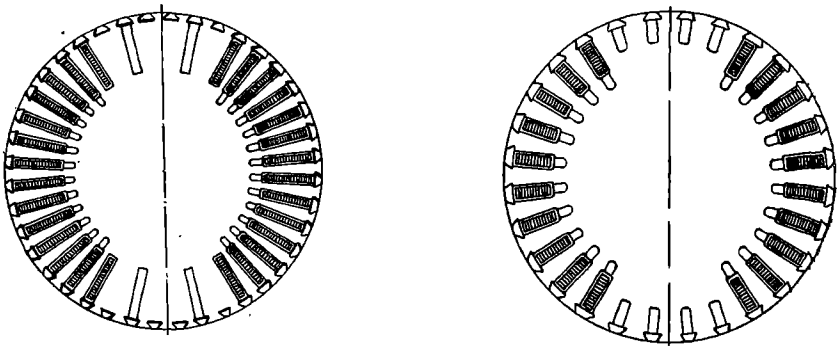


Fig. 9.42. Dispunerea crestăturilor la realizarea polilor înnecați, în construcția mașinilor sincrone (turbogeneratoare).

Conductoarele sînt așezate pe lat în crestături, așa cum este reprezentat în fig. 9.43, lățimea conductorului alegîndu-se corespunzător lățimii crestăturii.

Elementele constructive care intră în componența acestor înfășurări se pot observa în fig. 9.43.

În unele cazuri, determinate de tensiunea nominală și de regimul de lucru ale mașinii, în special în cazul motoarelor sincrone și al compensatoarelor sincrone, conductoarele înfășurării se izolează suplimentar unele în raport cu altele, fiind prevăzute cu teci izolante (3) ca în cazul reprezentat în fig. 9.43, *c*.

Execuția acestor înfășurări fiind foarte asemănătoare cu execuția înfășurărilor repartizate, se vor urma indicațiile date în cap. 10 pentru înfășurările repartizate.

În construcția mașinilor sincrone de putere mică cu polii în rotor (în special generatoare sincrone), datorită diametrului exterior redus al rotorului, spațiul dintre doi poli vecini poate fi considerat ca o crestătură în care se introduc două laturi de bobină, aparținînd bobinelor polare respective. În fig. 9.44 sînt reprezentate două exemple diferite de înfășurări și elementele constructive corespunzătoare. La confecționarea acestor înfășurări se folosește un conductor rotund.

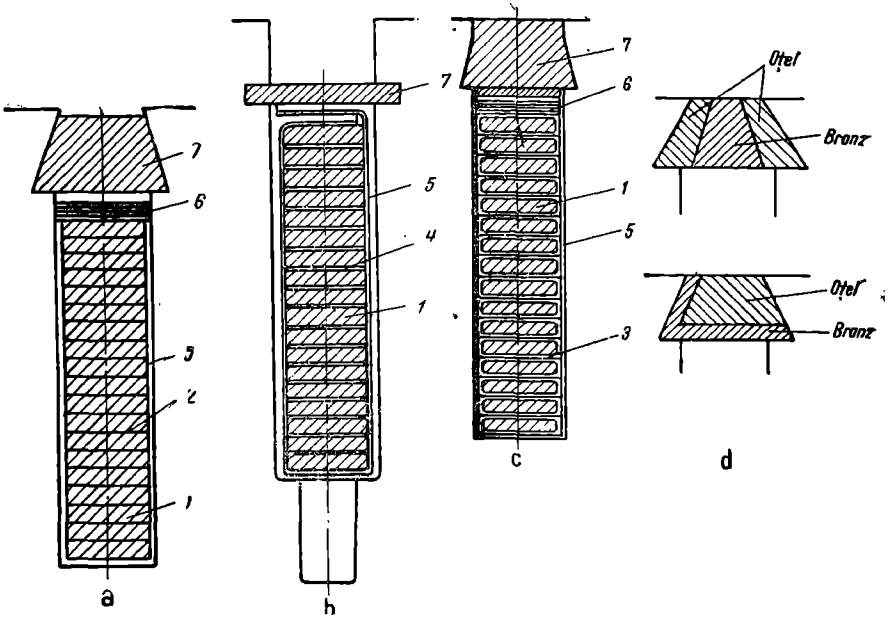


Fig. 9.43. Dispunerea în crestătură a conductoarelor încărcărilor concentrate (cu poli înecați) la turbogeneratoare :

a — cu conductoare cu izolație proprie; *b* — cu conductoare neizolate și cu izolație între spire; *c* — la conductoare izolate în teacă continuă; *d* — tipuri de pene pentru închiderea crestăturii; *1* — conductor; *2* — izolația coductorului; *3* — teacă izolantă pentru conductor; *4* — izolație între spire; *5* — izolația crestăturii; *6* — izolația sub pană; *7* — pană pentru închiderea crestăturii.

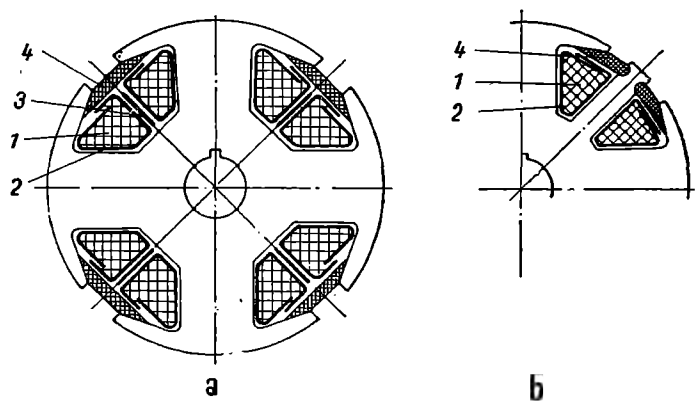


Fig. 9.44. Dispunerea înfășurărilor concentrate cu poli înnecați, realizate cu conductor rotund.

Indiferent de așezarea înfășurării în statival sau în rotorul mașinii, la executarea înfășurărilor concentrate trebuie îndeplinite următoarele etape de lucru :

— asamblarea polilor (bobină polară ; miez feromagnetic) ;

— montarea polilor pe jugul feromagnetic al statorului, respectiv al rotorului ;

— executarea legăturilor între bobinele polare și legăturile la placa sau bornele mașinii (în cazul înfășurărilor așezate în rotor aceste legături se fac la inelele de contact și de la periile ce calcă pe inel se efectuează legături la bornele sau placa de bobine a mașinii).

9.3.1. Asamblarea polilor

Asamblarea polilor constă din așezarea bobinelor polare pe miezul feromagnetic și necesită următoarele operații :

— Se pregătește miezul feromagnetic asamblat și controlat ca execuție și dimensiuni prin curățire de impuritățile metalice sau nemetalice, cu aer comprimat și în stare perfect uscată.

— Se introduc succesiv carcasele (metalică și izolantă) pe miezul feromagnetic și apoi bobinele polare. Aceste operații se realizează în funcție de tipul constructiv al carcaselor izolante.

De exemplu, la bobinele polare cu carcase închise, bobina se introduce o dată cu carcasa izolantă, în timp ce la bobinele cu izolație exterioară continuă sau la cele cu un singur strat de spire din conductor dreptunghiular, operația constă din introducerea bobinei pe suportul izolant.

În toate cazurile bobina se fixează în carcasa izolantă pentru a evita jocuri sau deplasări ulterioare.

9.3.2. Montarea polilor pe jugul feromagnetic

Această operație constă din asamblarea polilor montați (conform 9.3.1) cu dispozitivele de consolidare a bobinelor polare (resoarte, piese de fixare etc.). La montarea polilor se are în vedere ca asamblarea să fie foarte bine făcută și să fie asigurată contra demontării (deșurubare, alunecarea penelor de fixare) prin folosirea de piese de asigurare (șaibe de siguranță, șaibe crenelate, cuie spintecate, piese

de asigurare, contrapiulițe). De calitatea asamblării depinde în măsură foarte mare funcționarea înfășurării și respectiv a mașinii. În cazul polilor montați în rotor se adaugă operațiile de echilibrare statică (v. cap. 10), obligatorie la toate tipurile de mașini și de echilibrare dinamică, obligatorie pentru mașini cu turație mai mare de 750 rot/min (v. cap. 10).

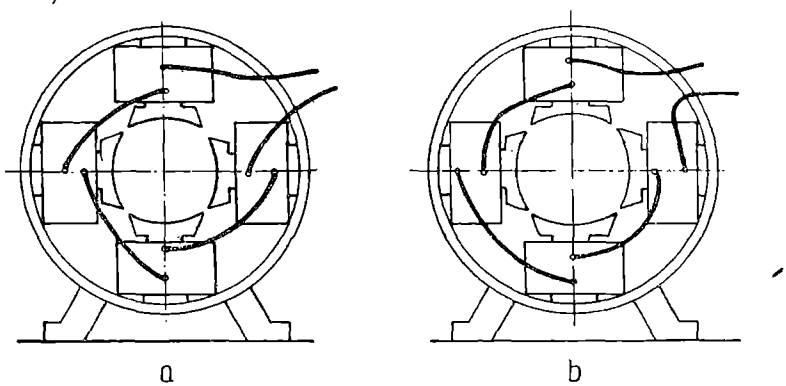


Fig. 9.45. Executarea legăturilor între bobinele polare pentru realizarea corectă a succesiunii polilor :
a — cînd toate bobinele au același sens de înfășurare; *b* — cînd sensul de înfășurare a bobinelor este alternat.

O atenție deosebită la montarea bobinelor pe miezul feromagnetic al polului trebuie dată sensului de înfășurare a spirelor pe bobină pentru realipirea corectă a succesiunii și pentru realizarea legăturilor între poli așa cum rezultă din fig. 9.45.

9.3.3. Executarea legăturilor (conexiunilor) între bobinele polare și a legăturilor la bornele sau placa de borne a mașinii

La realizarea conexiunilor între bobinele polare se folosește întotdeauna o schemă de legături pentru realizarea corectă a succesiunii polilor mașinii.

Corespunzător tipului de bobină, secțiunii de conductor și tipului de borne ale bobinei, executarea conexiunilor se face prin :

— lipirea sau sudarea capetelor de bobină ce se leagă în circuitul electric, în cazul bobinelor cu conductor de secțiune mică și cu capetele lungi lăsate la execuție ; la aceste bobine nu se folosesc conductoare speciale de legătură între bobine ;

— asamblarea mecanică (cu șurub și piuliță) în cazul bobinelor prevăzute cu bobine tip papuc sau borne plate ;

— asamblarea cu șurub și piuliță și lipire la același tip de bobine ca mai sus, dacă se prevede și operația de lipire (la mașinile de putere mare și întotdeauna în cazul polilor montați pe rotorul mașinii).

Pentru realizarea legăturilor la bornele mașinii sau la inelele de contact (la rotoare) ca și pentru realizarea legăturilor între căile de curent ale înfășurării, se folosesc conducte de legătură de tip FffBC sau F ffSi (fabricate de FCME-București), secțiunea stabilindu-se în funcție de valoarea curentului prin circuitul înfășurării.

9.4. ÎNCERCĂRILE ÎNFĂȘURĂRILOR CONCENTRATE

În timpul execuției elementelor înfășurărilor concentrate, a înfășurării și după executarea acesteia se execută o serie de încercări menite să asigure buna funcționare a mașinii. Se pot grupa încercările efectuate asupra înfășurărilor concentrate în :

— încercări asupra materialelor ;

— încercări în timpul fabricației ;

— încercări finale asupra înfășurării concentrate.

9.4.1. Încercările asupra materialelor

Aceste încercări se execută asupra materialelor electroizolante și asupra conductoarelor înainte de a le folosi în confecționarea vreunei înfășurări și au ca scop verificarea calității acestora. Se recomandă verificarea calitativă a materialelor înainte de a se lucra cu ele și îndeosebi controlul calitativ asupra conductorului de bobinaj (dimensiuni, izolație și asupra uniformității caracteristicilor pe toată lungimea sa.

9.4.2. Încercările în timpul fabricației

În timpul executării tuturor elementelor componente ale înfășurării, ca și în timpul executării circuitului înfășurării, se efectuează următoarele încercări de verificarea calității :

— verificarea dimensională și a aspectului carcaselor, a izolațiilor, a conductoarelor de conexiune ;

— verificarea bobinelor polare după confecționare, înainte de izolare (dimensiuni, număr de spire și izolația din interiorul bobinei);

— încercarea bobinelor polare gata pentru montarea pe miezul polar ;

— verificarea sensului de înfășurare după montarea polilor pe jugul magnetic înainte de efectuarea conexiunilor.

La verificarea dimensiunilor imediat după scoaterea de pe șablon, trebuie măsurate dimensiunile a_i, b_i, a_e, b_e și h (v. fig. 3.1.) ținîndu-se seama că bobina urmează să fie izolată la exterior (în care caz cotele exterioare măsurate trebuie să fie mai mici decît cele prescrise pentru bobina gata), sau că bobina urmează să fie consolidată prin presare (în care caz cota h ce se măsoară poate să fie mai mare decît cota h prescrisă).

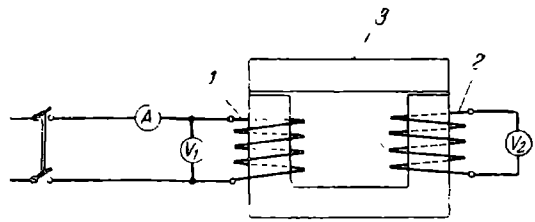


Fig. 9.46. Schema electrică pentru determinarea numărului de spire al bobinelor polare cu multe spire :
1 — bobină fixă; 2 — bobină de încercat; 3 — jug mobil.

Determinarea numărului de spire al bobinei se face diferit, după tipul bobinei. Numărul de spire la bobinele cu spire multe se determină introducînd bobina pe un circuit magnetic cu jugul mobil (v. fig. 9.46) prevăzut cu o înfășurare fixă *1* cu număr de spire cunoscut.

Aplicînd bobinei fixe *1* o tensiune alternativă U_1 care se măsoară cu voltmetrul V_1, la bornele bobinei de încercat se obține o tensiune electromotoare U_2, care se măsoară cu voltmetrul V_2. Numărul de spire al bobinei fixe fiind w_1, numărul de spire w_b ale bobinei ce se încearcă este dat de relația :

$$w_b = w_1 \frac{U_2}{U_1}. \tag{9.3}$$

Numărul de spire w_b se poate determina și prin compararea tensiunii măsurate cu tensiunea indusă într-o bobină similară al cărui număr de spire w_{br} este cunoscut și care este luată ca bobină de referință. Compararea tensiunilor induse se face legînd cele două bobine în opoziție, așa cum este arătat în schema din fig. 9.47, diferența dintre tensiunile electromotoare „u" se măsoară cu ajutorul voltmetrului V_1 de tensiune mică sau chiar a unui milivoltmetru.

Se măsoară și tensiunea U la bornele bobinei de referință, iar numărul de spire cu care diferă bobina încercată de cea de referință se calculează cu relația

$$w_b = w_b \frac{U}{U_b}. \tag{9.4}$$

Pentru a cunoaște dacă bobina încercată are un număr Δw_b de spire mai mare sau mai mic decît bobina de referință, respectiv dacă trebuie scoase sau adăugate spirele Δw_b se repetă încercarea aplicînd la bornele înfășurării *1* o tensiune continuă (de la o baterie de acumulatoare) și folosind în locul voltmetrului V_2 un milivoltmetru de curent continuu. La închiderea circuitului de alimentare de la baterie polaritatea bornelor a_1 și a_2 trebuind să fie aceeași ca a bornei b, și respectiv a bornelor b_1 și b_2 ca a bornei a. Rezultă că în schema de legături indicată dacă milivoltmetrul va indica păstrarea polarității bornei a_1, Δw_b reprezintă numărul de spire ce trebuie adăugate, în caz contrar Δw_b reprezintă numărul de spire ce trebuie scoase.

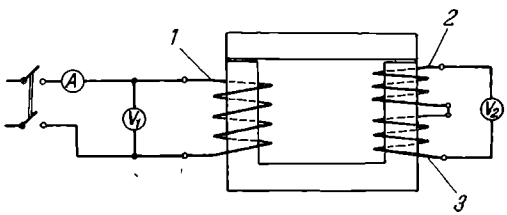


Fig. 9.47. Schemă pentru determinarea numărului de spire al unei bobine, prin metoda comparației :
1 — bobină fixă; *2* — bobină de încercat; *3* — bobină elalon.

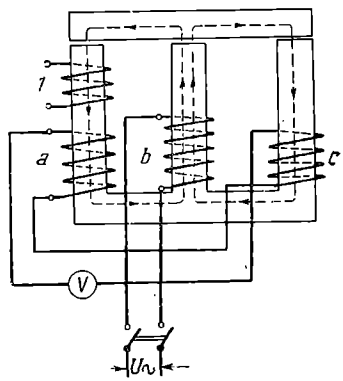


Fig. 9.48. Schema electrică a dispozitivului pentru determinarea scurtcircuitului unei bobine concentrice.

La bobinele executate din conductor dreptunghiular și cu un singur strat, numărul de spire se determină prin numărare.

Controlul izolației spirelor constă în verificarea izolației între spirele vecine și între straturile de spire. În acest scop, folosind dispozitivul din fig. 9.46, se aplică înfășurării *1* o tensiune alternativă a cărei mărime se stabilește astfel încît la bornele bobinei *2* de încercat să se obțină o tensiune egală cu de 1,5 ori tensiunea nominală a bobinei. Durata încercării este de 5 minute.

Pentru detectarea scurtcircuitului între spire, la Uzina de mașini electrice din București se folosește un dispozitiv de încercare (v. fig. 9.48) funcționînd astfel : pe un miez cu trei coloane lungi, care poate fi închis în partea superioară cu un jug mobil, se află trei înfășurări : una pe coloana centrală *3* și două (*4* și *5*) pe coloanele extreme. Bobinele *4* și *5* sînt similare și constituie bobinele auxiliare de măsură. Dacă bobina *3* se alimentează de la o rețea de tensiune alternativă, în bobinele *4* și *5* se vor induce tensiuni electromotoare.

Legînd în opoziție cele două bobine *4* și *5* un voltmetru *V* conectat în circuitul lor va indica o tensiune foarte mică și anume aceea datorită eventualelor diferențe constructive între bobinele *4* și *5* și disimetriilor lor de natură magnetică.

Dacă pe una din coloanele extreme se introduce o bobină *6*, în funcționarea aparatului intervin schimbări numai atunci cînd spirele bobinei *6* sînt scurtcircuitate, fapt care cauzează disimetrii mari în repartizarea cîmpului magnetic prin coloanele extreme și deci la voltmetrul *V* apare o tensiune de valoare mare. Scurtcircuitul între spire poate să fi apărut în timpul execuției bobinei sau poate fi provocat de străpungerea izolației între spirele înfășurării (în punctele în care ea este necorespunzătoare) în timpul încercării, dacă tensiunea indusă în aceste spire este suficientă pentru solicitarea corespunzătoare a izolației respective. În fig. 9.49, este reprezentată schema mai completă a aparatului, care cuprinde bobinele auxiliare de măsură *4* și *5* așezate pe miezul *1* și în plus bobina *6* legată în serie cu bobinele *4* și *5* și care servește pentru compensarea tensiunii măsurate de voltmetrul *V*, datorită diferențelor constructive sau de poziție în cîmpul magnetic al bobinelor *4* și *5*. Bobina *6* poate fi deplasată pe coloană, ceea ce permite aducerea la zero a aparatului de măsurat. După punerea la zero a aparatului pe această cale se introduce pe una din coloanele extreme bobina de încercat *7*, care poate fi concentrică cu bobina auxiliară de măsură.

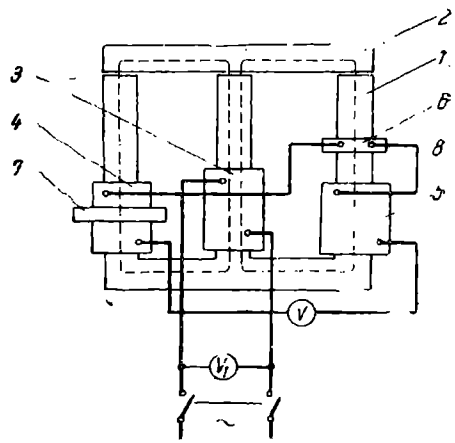


Fig. 9.49. Schema dispozitivului folosit la U.M.E. București pentru detectarea scurtcircuitului între spire la bobinele polare.

La bobinele polare impregnate, complet consolidate și izolate, la care prin plasarea pe miezul polului nu se mai produce nici o modificare a construcției sau dimensiunilor lor, se verifică izolația între spire. În cazul bobinelor așezate în carcasă metalică se verifică și izolația dintre bobină și această carcasă prin determinarea rezistenței de izolație și încercarea rezistenței de străpungere a acesteia.

Determinarea rezistenței de izolație se face cu ajutorul unui megohmmetru cu tensiunea de 500 sau 1 000 V. Se consideră că bobina

are o bună rezistență de izolație atunci cînd prin măsurare se obține mai mult decît 2 MΩ (1 MΩ=1 000 000 Ω), pentru tensiuni nominale de funcționare a bobinei sub 1 000 V și 5 MΩ pentru tensiuni mai mari decît 1 000 V, bobinele fiind în stare rece la temperatura mediului ambiant.

La încercarea izolației bobinei se aplică timp de 60 s, între conductorul bobinei și carcasa metalică, o tensiune înaltă alternativă cu frecvența de 50 Hz. Schema de principiu a instalației este reprezentată în fig. 9.50. Tensiunea aplicată se reglează treptat timp de minimum 1 min., pînă la valoarea prescrisă. Valoarea tensiunii de încercare se stabilește cu relația

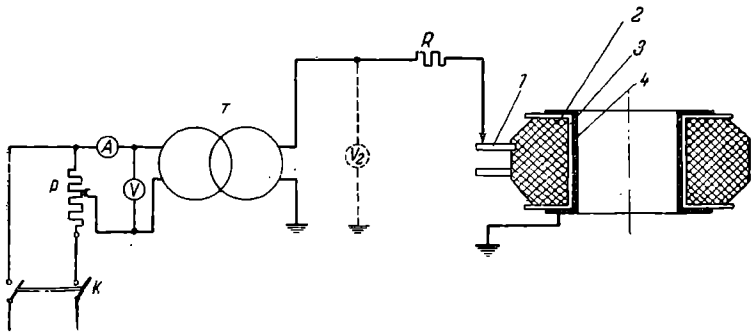


Fig. 9.50. Schema instalației pentru încercarea rigidității dielectrice a izolației bobinelor polare față de carcasa metalică suport:
K — întrerupător; *P* — potențiometru; *T* — transformator de 0,1—15 kV, 5—20 KVA; *1* — borne; *2* — bobină; *3* — izolația bobinei față de carcasă; *4* — carcasă metalică.

$$U_{inc}=(10\ U_e+1\ 000)\ [V] \qquad (9.5)$$

dar nu mai mică decît 2 500 V, unde U_e este tensiunea nominală a înfășurării (conform datelor nominale ale mașinii).

Încercarea se poate executa și după introducerea bobinelor polare pe miez înainte de montarea polilor în mașină.

9.4.3. Încercările finale

Înfășurările concentrate complet montate se supun următoarelor încercări finale:

— încercarea rezistenței la străpungere a izolației;
— măsurarea rezistenței de izolație;
— determinarea rezistenței electrice a înfășurărilor;
— verificarea polarităților polilor.

Încercarea rezistenței la străpungere a izolației se face de două ori respectiv înainte și după executarea legăturilor între bobine. În acest scop, folosind o instalație de încercare a cărei schemă e dată în fig. 9.50, se aplică timp de 1 minut o tensiune egală cu :

1 000 V+2× tensiunea nominală maximă de excitație la înfășurările de excitație ale mașinilor de curent continuu nu însă mai puțin de 1 500 V ;

de 10 ori tensiunea nominală de excitație (însă minimum 1 500 V și maximum 3 500 V) la înfășurările de excitație ale generatoarelor sincrone ;

1 000 V+2× tensiunea nominală de excitație însă nu mai puțin de 1 500 V, la înfășurările de excitație ale motoarelor și compensatoarelor sincrone care la pornirea în asincron au înfășurarea de excitație scurtcircuitată sau conectată la circuitul indusului excitatoarei ;

1 000 V+2× valoarea maximă a tensiunii efective care se poate produce în înfășurarea de excitație a motoarelor sau compensatoarelor sincrone dacă pornirea are loc cu înfășurarea de excitație deschisă sau conectată la bornele unei rezistențe, nu mai puțin de 1 500 V.

Aceste valori ale tensiunii de încercare la 50 Hz corespund STAS 1893-65.

La măsurarea rezistenței de izolație a înfășurării, valorile obținute la măsurători trebuie să fie mai mari decît 0,5 MΩ, pentru mașini avînd tensiunea nominală pînă la 1 000 V și funcționînd în mediu normal și de 2 MΩ pentru mașinile funcționînd la tensiuni mai mari decît 1 000 V. Valorile 0,5 MΩ, respectiv 2 MΩ, sînt considerate ca valori limită inferioare admisibile.

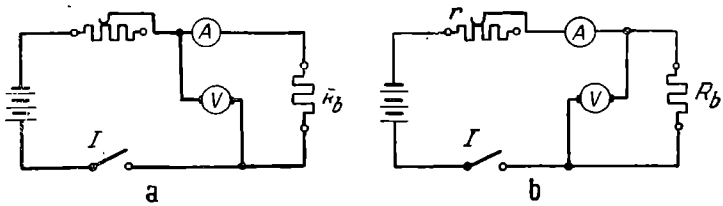


Fig. 9.51. Schemele folosite pentru determinarea rezistenței electrice a înfășurărilor concentrate :

a — pentru înfășurări de rezistență mare (înfășurări de excitație principală independentă sau derivație; *b* — pentru înfășurări de rezistență mică (înfășurări de excitație serie, înfășurările polilor auxiliari).

Rezistența electrică a înfășurării se poate determina cu ajutorul punților speciale (puntea de rezistență) sau cu ajutorul metodei voltmetrului și ampermetrului, conform schemelor din fig. 9.51.

Verificarea polarității polilor se execută după executarea legăturilor între bobinele polare. În acest scop se alimentează înfășurarea

de la o sursă de tensiune continuă, valoarea tensiunii alegîndu-se astfel încît curentul prin înfășurare să nu depășească jumătate din valoarea nominală a curentului ; înfășurarea fiind alimentată, se verifică polaritatea polilor cu ajutorul unei busole sau a unui magnet permanent.

În cazul mașinilor de curent continuu prevăzute cu poli de comutație, se alimentează și înfășurarea acestora. Polaritatea polilor de comutație este determinată de faptul că mașina este generator sau motor, precum și de sensul de rotație al mașinii, astfel :

— la generatoarele de curent continuu, după un pol principal nord, în sensul de rotație al rotorului, urmează un pol de comutație sud, iar după un pol principal sud, un pol de comutație nord ;

— la motoarele de curent continuu, după un pol principal nord urmează un pol de comutație nord, iar după un pol principal sud, un pol de comutație sud.

9.5. DEFECTELE ÎNFĂȘURĂRILOR CONCENTRATE

Principalele defecte ale înfășurărilor concentrate pot fi următoarele (v. fig. 9.52) :

— rezistența de izolație mică dintre înfășurări și masă (corpul mașinii), sau între diferitele înfășurări ale mașinii (fig. 9.52, *a*) ;

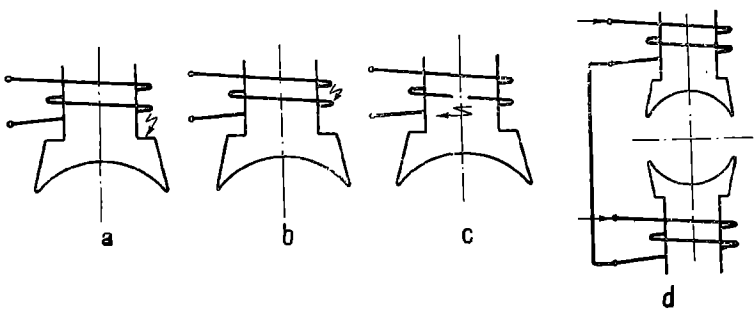


Fig. 9.52. Reprezentarea schematică a defectelor înfășurărilor concentrate :
a — rezistență de izolație mică între înfășurări și masă; *b* — scurtcircuit între spire; c — întreruperea înfășurării; *d* — conexiuni inversate.

— scurtcircuit între spire sau scurtcircuitul unei bobine (fig. 9.52, *b*) ;

— întreruperea înfășurării (fig. 9.52, c) ;

— conexiuni inversate între bobinele polare (fig. 9.52, *d*).

Defectul se precizează fie pe baza observațiilor constatate direct în timpul funcționării mașinii, fie efectuînd măsurători electrice și magnetice suplimentare. S-ar putea întîmpla ca la aceeași înfășurare să existe același defect în mai multe locuri ; de asemenea, este posibil ca o aceeași înfășurare să prezinte simultan defecte diferite. Cazurile complexe se examinează numai dacă se cunosc defectele elementare menționate mai înainte, reprezentate schematic în fig. 9.52.

9.5.1. Rezistența de izolație mică față de corpul mașinii

Acest defect se constată la mașinile a căror sursă de alimentare a excitației este izolată față de pămînt ; la o atingere întîmplătoare a oamenilor de aceste mașini, ele „curentează". După ce mașina a fost oprită și separată de alte circuite electrice și cu înfășurările derivație, serie sau compund deconectate de borne, se măsoară cu inductorul (megohmmetrul) sau cu un ohmmetru, rezistența de izolație a fiecărui din aceste înfășurări. Dacă rezistența de izolație este mică, și anume mai mică decît :

$$R_{iz.\ necesară} = \frac{U}{1\,000 + \frac{P}{100}}\ [\Omega], \qquad (9.\ b)$$

unde U este tensiunea nominală a mașinii, măsurată în volți, iar

P — puterea sa nominală, în kilowați, se consideră defect de izolație.

Cauzele producerii acestui defect pot fi următoarele :

— funcționarea mașinii în mediu umed, necorespunzător cu tipul de construcție al mașinii și cu tipul de materiale electroizolante utilizate, fapt care conduce la degradarea izolației ; în acest caz, rezistența de izolație este foarte mică ; la funcționarea în sarcină, pe măsură ce mașina se încălzește, umezeala este îndepărtată, iar rezistența de izolație crește ;

— îmbătrînirea izolației datorită funcționării îndelungate a mașinii sau datorită suprasarcinii care a avut ca urmare o încălzire a înfășurării peste limitele admisibile ;

— distrugerea izolației dintre înfășurare și carcasă pe cale mecanică, în timpul transportului mașinilor sau funcționării, datorită execuției neîngrijite, a jocului dintre bobină față de miezul polului și jug.

Defectul se localizează demontînd mașina și examinînd înfășurarea parte cu parte. În cazul cînd nu se constată direct nici o atingere între fier și bobine sau între carcasă și conductoarele de legătură la borne sau între legăturile dintre bobine, se separă înfășurarea în

două părți egale, desfăcînd una dintre legăturile dintre bobine. Se măsoară pe rînd rezistența de izolație a fiecăreia din cele două părți de înfășurare astfel create. Dacă rezistențele de izolație măsurate sînt egale între ele și egale cu dublul valorii rezistenței de izolație măsurate anterior, înseamnă că este puțin probabil ca defectul să fie localizat ; în acest caz concluzia este că întreaga izolație a înfășurării are o rezistență de izolație mică.

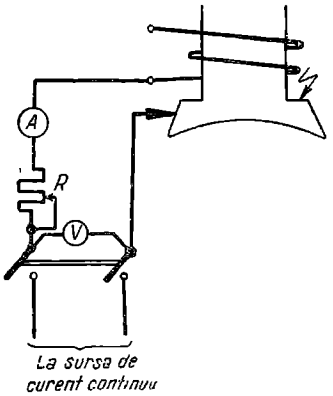


Fig. 9.53. Schema de încercare pentru determinarea defectului de izolație la o bobină polară.

Dacă una din laturi are o rezistență de izolație mare, iar cealaltă o rezistență de izolație mică, atunci se examinează în continuare ultima latură.

Cînd s-a localizat defectul pe o bobină, se scoate polul împreună cu bobina din stator și se încearcă separat bobina față de pol, fiindcă este posibil ca bobina să fi fost în contact cu carcasa. Dacă rezistența de izolație dintre bobină și miezul polar este mică, se scoate bobina de pe miezul polar și se examinează cu ochiul liber.

Defectul se poate localiza și astfel : se aplică o tensiune între înfășurare și carcasă și se examinează mașina cîteva minute, observînd locul unde izolația începe să fumege. Schema de conexiuni folosită este indicată în fig. 9.53. Reostatul R se alege astfel încît prin circuit să treacă cel mult curentul admisibil prin înfășurarea respectivă. Folosirea unei lămpi în locul reostatului R nu este indicată.

9.5.2. Scurtcircuitul între spire sau scurtcircuitarea unei bobine

Scurtcircuitul dintre spire are drept consecință funcționarea defectuoasă a mașinii, mers neuniform, cu vibrații ; mașina nu produce la borne tensiunea nominală, iar la funcționarea ca motor de curent continuu viteza mașinii este mai mare decît viteza nominală, cu toate că tensiunea aplicată este egală cu tensiunea nominală.

Scurtcircuitul spirelor din înfășurarea polilor auxiliari are ca urmare o comutație defectuoasă : scînteile la perii sînt comparabile cu acelea care s-ar obține cînd mașina nu ar avea înfășurarea polilor auxiliari conectată în circuit.

Cauzele defectului pot fi :

— îmbătrînirea izolației ;

— supratensiuni periculoase care se produc la deschiderea circuitului de excitație alimentat de la o sursă de tensiune.

Localizarea defectului se poate face în diferite moduri :

— se măsoară rezistențele electrice ale bobinelor care aparțin la poli diferiți și se compară valorile între ele ; bobinele care prezintă scurtcircuite au rezistența electrică mai mică ; identificarea spirelor scurtcircuitate este posibilă numai dacă se desface bobina defectată ;

— se detectează scurtcircuitul între spire, procedînd așa cum s-a arătat la pct. b (9.4.2), la controlul fiecărei bobine, cu aparatul descris.

9.5.3. Întreruperea înfășurării

Întreruperea înfășurării se constată prin aceea că, alimentînd înfășurarea respectivă de la o sursă avînd tensiunea nominală, curentul prin înfășurare este nul (dacă toate bobinele sînt în serie) sau are o valoare mai mică decît curentul nominal dacă înfășurarea are mai multe circuite legate în paralel.

Întreruperea înfășurării se produce din cauza :

— executării defectuoase a lipiturilor la legături ;

— în urma distrugerii conductorului, ca urmare a unui scurtcircuit între spire sau a unei degradări a conductorului în timpul operației de confecționare a bobinei.

Localizarea defectului este relativ simplă : se măsoară pe rînd rezistența electrică a fiecărei bobine cu puntea pentru măsurarea rezistențelor și se identifică bobina defectă. Este posibil ca defectul să fie chiar la una din legăturile dintre bobine.

9.5.4. Conexiuni greșite între bobinele polare ale înfășurării

Acest defect se manifestă diferit în funcționarea mașinii, după cum înfășurarea respectivă este o înfășurare de excitație, de compensare sau este înfășurarea polilor auxiliari și apare datorită realizării greșite a schemei de conexiuni a înfășurărilor, de exemplu după reparație. La mașina de curent continuu care are conexiunea greșită a unei bobine de excitație se produc scîntei mari la colectorul în funcționare. La o mașină bipolară (v. fig. 9.54, *a*), tensiunea indusă la perii este nulă. Decalînd una din perii din axa neutră spre axa unui pol, tensiunea la perii crește. La o mașină tetrapolară

(fig. 9.54, *b*), buclată de exemplu în rotor, în cazul cînd una din bobinele polare este legată greşit în circuit (polul de jos), datorită faptului că periile care în mod normal ar trebui să fie de aceeaşi polaritate sînt legate între ele, prin înfăşurare trec curenţi importanţi. Aceşti curenţi se închid prin perii, tensiunea la perii este relativ mică, iar la perii se observă scîntei nepermise în cazul funcţionării

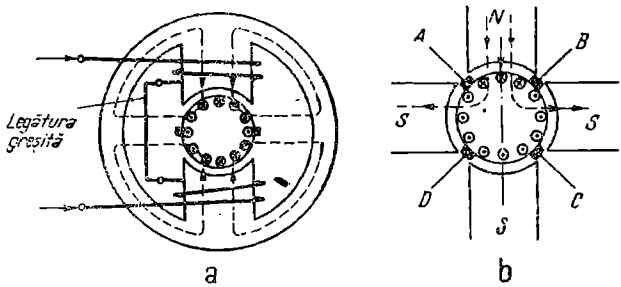


Fig. 9.54. Cîmpul magnetic prin maşina cu conexiune greşită a înfăşurării de excitaţie :
a — maşină de curent continuu bipolară; *b* — maşină de curent continuu tetrapolară.

în gol ; maşina vibrează puternic datorită nesimetriei distribuţiei forţelor de atracţie magnetică multilaterale care se produc. Inversarea conexiunilor la înfăşurările polilor de comutaţie (auxiliari) se manifestă în timpul funcţionării maşinii în sarcină, cînd comutaţia este înrăutăţită. Acelaşi fenomen se produce şi la inversarea bornelor înfăşurării de compensare.

Pentru localizarea defectului, se procedează aşa cum s-a arătat la § 9.4.2, verificîndu-se polaritatea tuturor polilor maşinii de curent continuu.

10. Construcţia şi execuţia înfăşurărilor repartizate

Tipul, construcţia, materialele utilizate şi metodele de fabricaţie ale înfăşurărilor repartizate sînt determinate de caracteristicile şi condiţiile de funcţionare ale maşinilor electrice pe care le echipează.

10.1. TIPURI CONSTRUCTIVE DE ÎNFĂȘURĂRI REPARTIZATE; ELEMENTELE CONSTRUCTIVE ALE ÎNFĂȘURĂRII

Tipurile constructive ale înfășurărilor repartizate se pot clasifica :

— după mărimea solicitărilor de natură electrică, în
  înfășurări de tensiune foarte joasă (pînă la 24 V) ;
  înfășurări de tensiune joasă (sub 1 000 V exclusiv) ;
  înfășurări de înaltă tensiune (de la 1 000 V inclusiv) ;
— după mărimea intensității curentului prin înfășurări, se deosebesc
  înfășurări cu conductor subțire, rotund ;
  înfășurări cu conductor de secțiune mare, profilat.

Corespunzător solicitărilor de natură mecanică datorate turației mașinii, înfășurările din rotoare se execută ca :

  înfășurări pentru mașini cu turații mici (pînă la 1 000 rot/min, inclusiv) ;
  înfășurări pentru mașini cu turații ridicate (peste 1 000 rot/min).

Corespunzător condițiilor de mediu, înfășurările repartizate se realizează în diferite tipuri de protecție climatică (normală, tropicală etc.).

În practică, înfășurările repartizate se execută în tipuri constructive care țin seama de combinarea solicitărilor arătate, de exemplu : înfășurare de înaltă tensiune, cu conductor dreptunghiular, pentru turații mici, în protecție climatică tropicală TH (pentru climat tropical umed) etc.

Elementele constructive ce compun înfășurările repartizate, după funcția ce o îndeplinesc în mașină, se grupează în : *elemente active* (conductor, spiră, bobină), *elemente electrice de legătură* (conductoare și cabluri de conexiuni, legături borne etc.) și *elementele izolației înfășurării față de corpul mașinii* (elementele schemei de izolație a mașinii). Elementele electrice de legătură sînt examinate în capitolul 8.

10.2. ELEMENTELE ACTIVE : CONDUCTORUL, SPIRA, BOBINA ; TIPURI DE BOBINE

În timp ce conductorul și spira formează elementele funcționale de bază ale înfășurării, bobina formează elementul constructiv de bază al acestora.

Bobinele pot fi formate din una sau mai multe spire. La confecționarea înfășurărilor pot fi folosite bobine de același tip (bobine egale) sau de tipuri diferite, în fiecare din aceste cazuri ca bobine singulare, sau ca grupe de două sau mai multe bobine.

Se deosebesc următoarele tipuri constructive de bobine : bobinele moi, bobinele semitari (semirigide) și bobinele tari (rigide).

Bobinele moi, denumite astfel întrucît își capătă forma lor definitivă numai după introducerea în crestături, se execută de obicei cu conductor rotund, forma lor constructivă fiind similară celor reprezentate în fig. 10.1, *a, b,* c și *d.* Se folosesc de obicei la mașinile

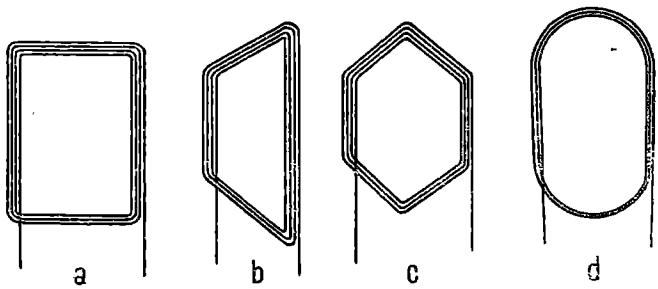


Fig. 10.1. Tipuri constructive de bobine moi :
a — bobină dreptunghiulară; *b* — bobină trapezoidală; *c* — bobină hexagonală; *d* — bobină cu capete rotunde.

de curent alternativ de tensiune joasă și puteri mici și mijlocii, precum și la indusurile mașinilor de curent continuu de putere mică și în rotoarele mașinilor de curent alternativ cu colector, de putere mică. Cu grupe de bobine concentrice (vezi fig. 10.2, *a* și *b)* respectiv cu grupe de bobine egale, cu bobine moi (vezi fig. 10.3, *a* și *b*) se realizează de obicei înfășurările în două straturi și înfășurările într-un strat.

Bobinele moi se folosesc în cazul crestăturilor semiînchise (de regulă cu pereți neparaleli) sau închise.

Bobinele semitari (semirigide), denumite astfel întrucît porțiunea ce se introduce în crestătura complet izolată este rigidă, se execută atît din conductor rotund (similar bobinei reprezentată în fig. 10.4), cît și din conductor dreptunghiular. Se folosesc la indusurile mașinilor de curent continuu de putere mijlocie și de tracțiune, precum și la mașinile de curent alternativ de putere mijlocie (barele din înfășurările rotoarelor). Înfășurările cu bobine semirigide sînt de regulă în două straturi. Bobinele semirigide se folosesc în cazul crestăturilor semideschise sau semiînchise (cu pereți paraleli) așa cum se arată în fig. 10.5.

Bobinele tari (rigide), denumite astfel întrucît după confecționare nu mai suportă nici o modificare de formă nici chiar la introducerea lor în crestături, se execută de regulă din conductor de secțiune dreptunghiulară și pot avea una din formele reprezen-

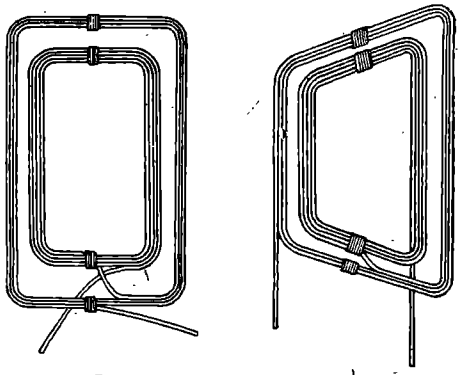


Fig. 10.2. Grupe de bobine moi, concentrice :
a — cu bobine dreptunghiulare; *b* — cu bobine trapezoidale.

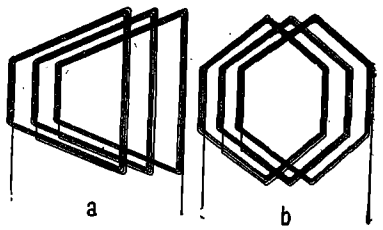


Fig. 10.3. Grupe de bobine moi egale :
a — cu bobine trapezoidale; *b* — cu bobine hexagonale.

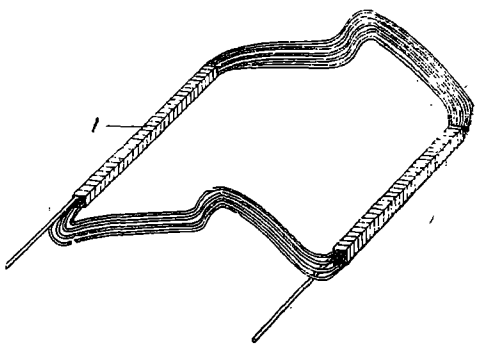


Fig. 10.4. Bobină semitare cu conductor rotund, folosită în construcția înfășurărilor de curent continuu :
1 — teacă izolantă rigidă.

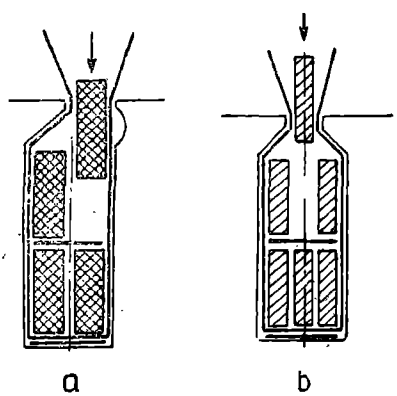


Fig. 10.5. Utilizarea crestăturilor cu pereți paraleli, la înfășurări cu bobine semitari :
a — semideschisă; *b* — semiînchisă.

tate în fig. 10.6. Se folosesc bobine tari (rigide) ca bobine cu mai multe spire (fig. 10.6, *a*) la indusurile mașinilor de curent continuu și în statoarele mașinilor de curent alternativ de joasă și de înaltă tensiune, iar ca bobine cu o singură spiră sau ca semispire (fig. 10.6, *b* și *c*) la statoarele mașinilor de curent alternativ de joasă

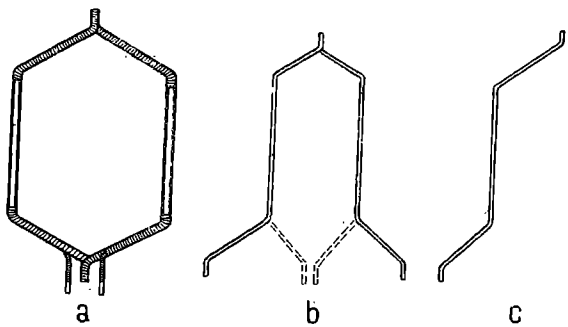


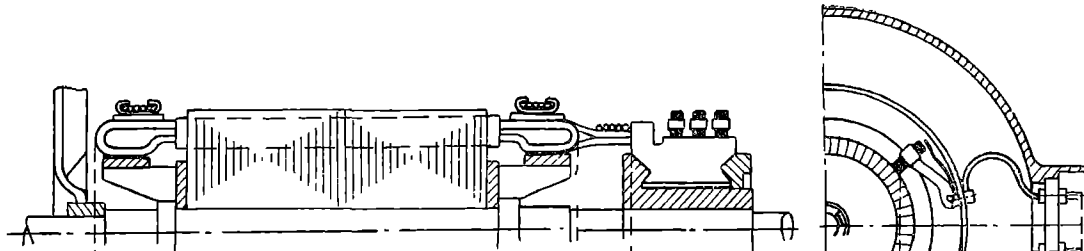
Fig. 10.6. Forme constructive de bobine tari (rigide) :
a — bobină cu mai multe spire; *b* — bobină formată dintr-o singură spiră; *c* — semibobină (bară).

tensiune cu viteză de rotație mică sau de înaltă tensiune de putere mare, precum și la rotoarele mașinilor asincrone și indusurile mașinilor de curent continuu de tensiune foarte joasă sau de joasă tensiune și putere mare.

10.3. IZOLAȚIA ÎNFĂȘURĂRILOR REPARTIZATE

10.3.1. Elementele componente ale izolației ; schema de izolație a înfășurării

Schema de izolație a înfășurării, denumită pe scurt izolația înfășurării, include toate izolațiile electrice ale tuturor elementelor circuitului înfășurării față de restul părților componente ale mașinii. De calitatea materialelor electroizolante ce intră în componența schemei de izolație și de stabilitatea în timp, sub acțiunea solicitărilor electrice, termice și mecanice a caracteristicilor acestor materiale, depinde funcționarea mașinii. De aceea la executarea înfășurărilor se dă o mare atenție modului în care se aleg materialele și se realizează izolația mașinii. Modul de realizare a izolației este determinat în primul rînd de soluția constructivă generală a înfășurării repartizate pe care o izolează. Cum aceasta este legată de tipul de bază al înfășurării, tip indus de curent



Elementul înfășurării	Capul de bobine	Conductoare active	Capul de bobine	Legăturile la colector	Colectorul (lamelele de cupru)		Perii și conductoare de legătură între perii	Conductoare de legătură la borne	Borne
Partea mașinii față de care se izolează electric înfășurarea	Pachet tole, suport cap bobine, ventilator bandaj	Pachet de tole (alte straturi ale înfășurării *)	Pachet de tole, suport cap bobine	Bandaj, colector	Piese de asamblare colector		Port perii, carcasă, scut	Portperii, carcasă, scut	Carcasă
Elementul schemei de izolație (denumirea)	Izolația la capul de bobine	Izolația în crestătură	Izolația la capul de bobine	Izolația legăturilor la colector	Izolația colectorului		Izolația periilor	Izolația conductoare de legătură la bornă	Izolația bornelor

(*) Se referă la înfășurările în două sau mai multe straturi

Fig. 10.7. Elementele schemei de izolație a înfășurărilor repartizate de tip indus de curent continuu.

continuu sau de curent alternativ, iar în acest de al doilea caz de situarea ei în stator sau în rotor, se disting trei tipuri de bază și generale de scheme de izolație reprezentate în figurile 10.7, 10.8 și 10.9, în care sînt indicate și elementele principale ale schemelor și anume :

— scheme de izolație pentru înfășurări tip indus de curent continuu, dispuse în rotoarele mașinilor de curent continuu și în rotoarele motoarelor de curent alternativ cu colector (fig. 10.7) ;

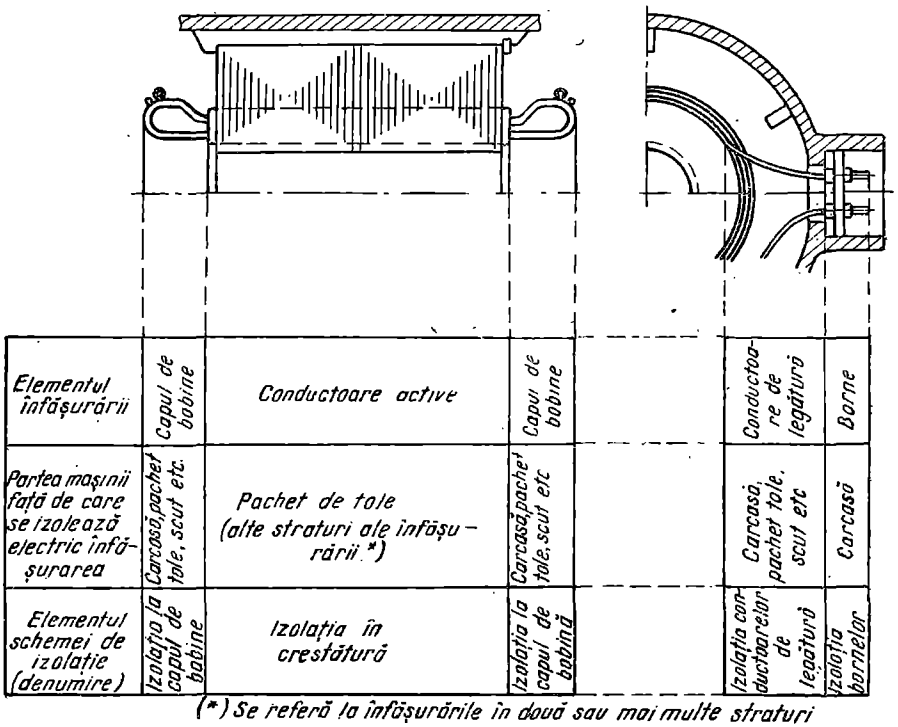


Fig. 10.8. Elementele schemei de izolație a înfășurărilor repartizate de curent alternativ, din statorul mașinilor electrice de curent alternativ.

— scheme de izolație pentru înfășurări de curent alternativ dispuse în statorul mașinilor de curent alternativ (fig. 10.8) ;

— scheme de izolație pentru înfășurări de curent alternativ dispuse în rotorul mașinilor de curent alternativ (fig. 10.9).

Fiecare din aceste trei tipuri de bază poate fi realizat pentru a corespunde diferitelor tipuri constructive de înfășurări, arătate la

subcap. 10.1. Pentru orice alt tip de înfășurare repartizată, schema de izolație se stabilește în același mod.

Elementele ce compun schema de izolație a unei înfășurări repartizate sînt grupate pentru diferitele porțiuni ale circuitului electric al înfășurării, așa cum se arată în figurile 10.7, 10.8 și 10.9.

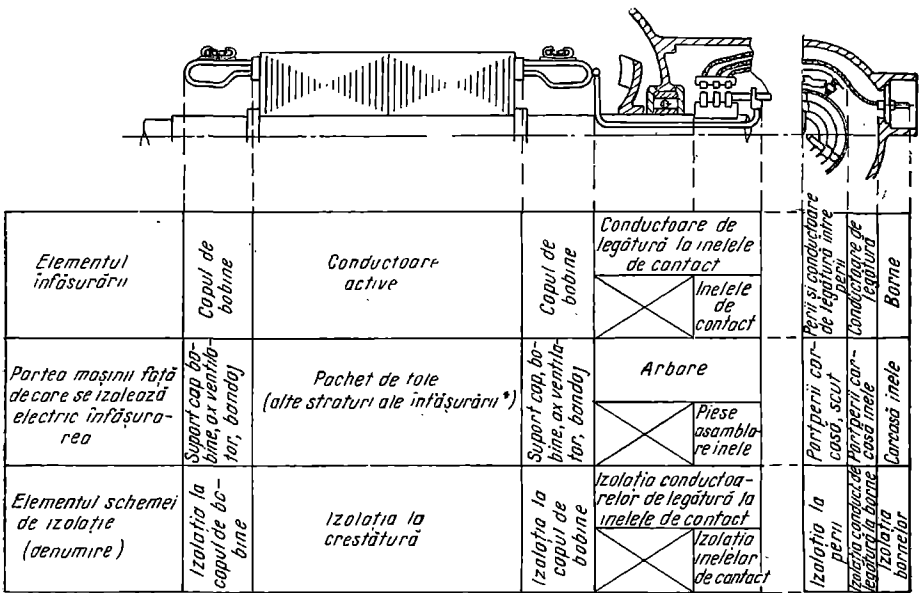


Fig. 10.9. Elementele schemei de izolație a înfășurărilor repartizate, de curent alternativ, din rotorul mașinilor electrice de curent alternativ.

Astfel, la înfășurările tip indus de curent continuu (fig. 10.7) se deosebesc :

— izolația în crestătură ;
— izolația la capul de bobine ;
— izolația legăturilor la colector ;
— izolația colectorului ;
— izolația periilor ;
— izolația conductoarelor de legătură la borne ;
— izolația bornelor.

La înfășurările de curent alternativ, din statorul mașinilor electrice de curent alternativ (fig. 10.8) se disting :

— izolația în crestătură ;
— izolația la capul de bobine ;

— izolația conductoarelor de legătură la borne ;
— izolația bornelor.

La înfășurările de curent alternativ din rotorul mașinilor electrice de curent alternativ (fig. 10.9) se deosebesc :
— izolația în crestătură,
— izolația la capul de bobină,
— izolația conductoarelor de legătură la inelele de contact,
— izolația inelelor de contact,
— izolația periilor,
— izolația conductoarelor de legătură la borne ;
— izolația bornelor.

Elementele componente ale schemelor de izolație din figurile 10.7, 10.8 și 10.9, se realizează diferit, după construcția elementelor de circuit ale înfășurării pe care le izolează. În capitolul 8 au fost indicate și izolațiile elementelor de legătură respective. Izolația în crestătură depinde în primul rînd de modul în care este dispusă înfășurarea în crestătură, iar izolația la capul de bobină de forma capului de bobină și de dispunerea capetelor de bobină. Aceste elemente constructive sînt determinate pentru fiecare din soluțiile care se adoptă la fiecare din variantele indicate la pct. 10.1.

10.3.2. **Elementele componente ale izolației în crestătură și izolația la capul de bobină**

Izolația în crestătură este cea mai importantă parte a schemei de izolație a înfășurării, de calitatea ei depinzînd în cea mai mare măsură calitatea izolației mașinii.

Elementele ce compun izolația în crestătură, așa cum rezultă din exemplele date în figurile 10.10, 10.11, 10.16 și 10.17, se stabilesc în funcție de tipul conductorului, tensiunea nominală a înfășurării, clasa de izolație a înfășurării etc. și sînt în general următoarele :

— izolația conductorului *1 ;*
— izolația între spire *2 ;*
— izolația laturii de bobină (izolația mănunchiului, teaca izolantă a mănunchiului) *3 ;*
— izolația între straturi *4 ;*
— izolația (teaca izolantă) a crestăturii *5 ;*
— izolația la fundul crestăturii *6 ;*
— izolația sub pană sau sub bandaj *7 ;*
— pana izolantă pentru închiderea crestăturii *8.*

În componența diferitelor izolații în crestătură în funcție de construcția acesteia, pot intra numai unele din elementele indicate mai sus.

În zona capului de bobină, în componența izolației intervin următoarele elemente :

— izolația conductorului ;
— izolația între spire ;
— izolația pe suprafața (teaca izolantă) mănunchiului ;
— izolația între straturi (etaje) ;
— izolația între faze (la înfășurări de curent alternativ cu conductor rotund) ;
— izolația suportului capului de bobină ;
— izolația față de dispozitivul de consolidare (bandaj la rotoare, inele de consolidare la statoare) ;
— izolația legăturilor ;

10.3.3. Izolația înfășurărilor tip indus de curent continuu

Dispunerea în crestătură ; izolația în crestătură

Înfășurările tip indus de curent continuu se realizează fie cu conductor rotund subțire (pentru puteri mici și mijlocii), fie cu conductor dreptunghiular (pentru puteri mijlocii și mari sau pentru tensiuni foarte joase).

Înfășurările cu conductor rotund (sîrmă) se execută de regulă cu bobine moi, crestăturile fiind semiînchise (fig. 10.10, *a, b* și *d*) și mai rar cu bobine semitari, în care caz crestătura este deschisă (fig. 10.10, *c*), sau semideschisă cînd pe fiecare din straturi sînt cel puțin două laturi de bobină.

Înfășurările cu conductor dreptunghiular (bară) se realizează cu bobine semitari (semirigide) sau tari (rigide) în ambele cazuri crestătura fiind deschisă (fig. 10.11, *a*). Cînd la utilizarea bobinelor semitari pe fiecare strat sînt cîte două laturi de bobine, crestătura poate fi semideschisă (fig. 10.11, *b*), iar dacă numărul lor depășește 2 pe fiecare strat, crestătura poate fi semiînchisă (fig. 10.11, *c* și *d*).

Elementele care compun izolația în crestătură la înfășurările tip indus de curent continuu, reprezentate în fig. 10.10 și 10.11, sînt în general următoarele : izolația conductorului *1*, izolația între conductoarele de bobinaj sau între spire 2, izolația laturii de bobină

(teaca izolantă a mănunchiului) *3*, izolația între straturi *4*, izolația față de peretele crestăturii, denumită și izolația crestăturii sau teaca izolantă a crestăturii *5*, izolația la fundul crestăturii *6* și izolația sub pana de închidere a crestăturii sau sub bandaj 7. În mod curent, în lista materialelor izolante este inclusă și pana izolantă de închidere a crestăturii *8*.

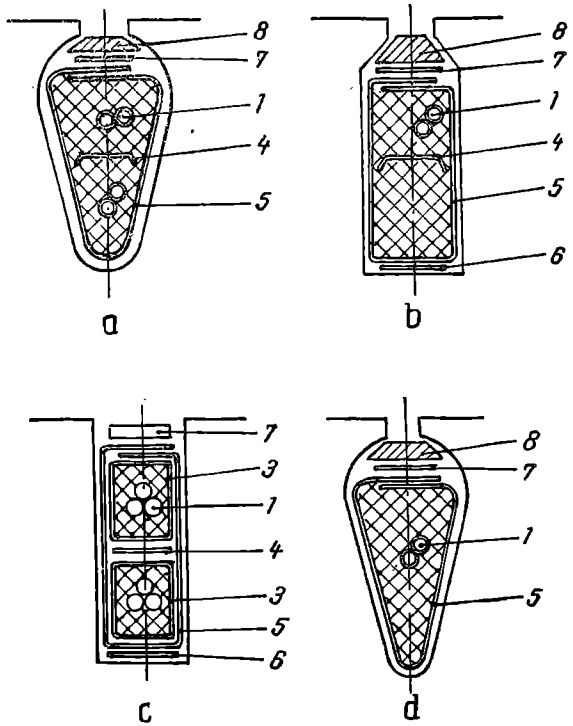


Fig. 10.10. Dispunerea în crestătură a înfășurărilor tip indus de curent continuu cu conductor rotund, cu înfășurare în două straturi (*a*, *b*, *c*) sau cu înfășurare într-un strat (*d*) ;

a — crestătură semiînchisă avînd formă de pară; *b* — crestătură semiînchisă cu pereți paraleli; *c* — crestătură deschisă cu pereți paraleli; *d* — crestătură semiînchisă avînd formă de pară.

La realizarea elementelor izolației în crestătură exceptînd izolația proprie conductorului de bobinaj (email sau textilă) și materialele folosite pentru impregnare (lacuri, rășini, compunduri), se folosesc materiale electroizolante sub formă de foi sau benzi. Determinante

pentru stabilirea elementelor izolației în crestătură sînt tensiunea nominală a înfășurării și modul în care se realizează înfășurarea. În tabela 10.1 se dau sub formă de recomandare grosimile de izolație față de peretele crestăturii pentru diferite tensiuni de serviciu nominale la înfășurări de tip indus de curent continuu.

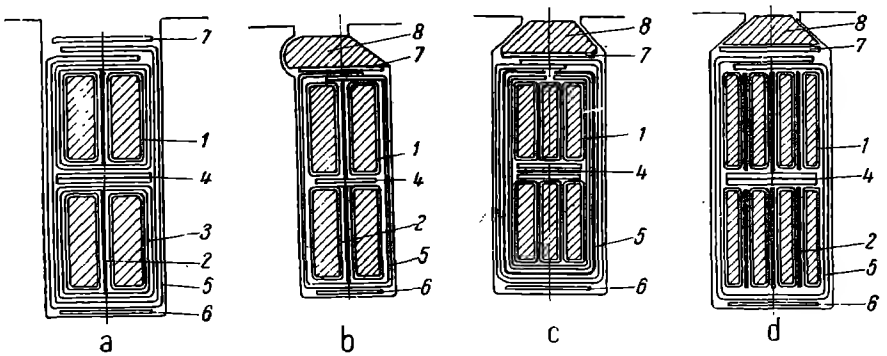


Fig. 10.11. Tipuri de crestături folosite în construcția înfășurărilor tip indus de curent continuu, cu conductor dreptunghiular (bară) :
a — crestătură deschisă; *b* — crestătură semideschisă; *c, d* — crestături semiînchise.

Tabela 10.1

Grosimi de izolație (mm) recomandate pentru înfășurări tip indus de curent continuu

Înfășurarea		Numărul de laturi de bobină în crestătură ($2\times n$)	Grosimea izolației (mm) la tensiunea V:					
			100—500		501—800		801—1 200	
			Pe înălțime	Pe lățime	Pe înălțime	Pe lățime	Pe înălțime	Pe lățime
Din conductor rotund sau dreptunghiular, cu $w>1$		oarecare	3,5	1,8	4,5	2,0	5,5	2,2
Cu bare ($w=1$)	Cu bandaje de consolidare	2×1	4	1,8	5	2,2	6	2,4
		2×2	4	2,6	5	3,0	6	3,2
		2×3	4	3,0	5	3,4	6	3,6
		2×4	4	3,5	5	3,9	6	4,1
		2×5	4	4,1	5	4,5	6	4,7
	Cu pană de închidere a crestăturii (de grosime k mm)	2×1	$k+5$	1,8	$k+6$	2,2	$k+7$	2,4
		2×2	$k+5$	2,6	$k+6$	3,0	$k+7$	3,2
		2×3	$k+5$	3,0	$k+6$	3,4	$k+7$	3,6
		2×4	$k+5$	3,5	$k+6$	3,9	$k+7$	4,1
		2×5	$k+5$	4,1	$k+6$	4,5	$k+7$	4,7

În anexa II sînt date pentru exemplificare unele soluții folosite pentru realizarea de izolații în crestătură la înfășurări tip indus de curent continuu în clase de izolație diferite (A, E, B, F) cu indicarea materialelor și a dimensiunilor (grosimea) acestora.

Capetele de bobină ;
izolația la capetele de bobină

Forma constructivă a capetelor de bobină și modul în care sînt dispuse legăturile la colector la înfășurările tip indus de curent continuu este diferită în funcție de tipul conductorului (rotund sau dreptunghiular).

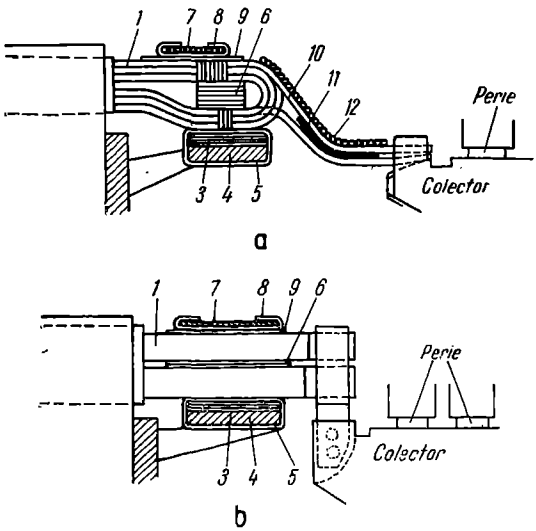


Fig. 10.12. Forma constructivă a capului de bobină și legăturile la colector la înfășurările tip indus de curent continuu :

a — realizate cu conductor rotund; *b* — realizate cu conductor dreptunghiular; *1* — conductorul izolat; 3 — izolația sub capul de bobină; *4* — suport cap de bobină; *5* — izolația suportului capului de bobină; *6* — izolația în capul de bobină; *7* — bandaj de consolidare a capului de bobină; *8* — cleme de fixare a bandajului; *9* — izolația sub bandaj; *10* — legăturile la colector; *11* — izolația între legăturile la colector; *12* — bandaj izolant.

În fig. 10.12 sînt reprezentate forma capului de bobină și executarea legăturilor la colector pentru înfășurări de curent continuu realizate cu conductor rotund (*a*) și cu conductor dreptunghiular (*b*). În aceste figuri s-au notat elementele ce se întîlnesc în construcția capului de bobină și a izolației acestuia, respectiv izolația conductorului *1*, izolația sub capul de bobină *3*, izolația *5* a suportului capetelor de bobină *4*, izolația în capul de bobină *6*, izolația *9* de sub bandajul de consolidare 7 avînd clemele *8*, izolația *11* între legăturile *10* la colector, care sînt consolidate cu un bandaj izolant *12*. În unele cazuri, în zona capetelor de bobină pe suprafața mănunchiului este aplicată o izolație continuă *2* (fig. 10.13, *a*) la bobinele cu conductor rotund, iar la bobinele cu conductor dreptunghiular avînd $w>1$, o izolație parțială *2* așa cum este reprezentat în fig. 10.13, *b*.

În construcția înfășurărilor cu conductor de secțiune dreptunghiulară consolidarea și totodată și izolarea legăturilor la colector se realizează uneori prin aplicarea unei benzi textile (de bumbac sau din fire de sticlă) *2'*, așa cum este reprezentat în fig. 10.14.

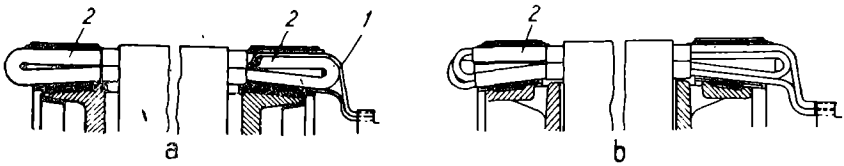


Fig.10.13. Izolarea mănunchiului în zona capului de bobină la înfășurările tip indus de curent continuu :

a — realizate cu conductor rotund; *b* — realizate cu conductor dreptunghiular (bară); *1* — conductorul izolat; *2* — izolație la suprafața mănunchiului.

La realizarea izolației la capul de bobină se folosesc materiale în general sub formă de benzi, materiale corespunzătoare clasei de izolație și regimului de funcționare al mașinii.

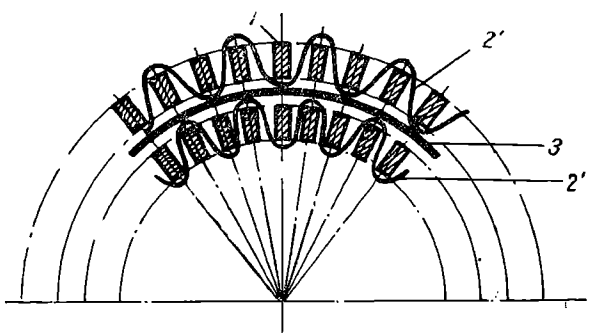


Fig. 10.14. Consolidarea legăturilor la colector cu bandă textilă :

1 — conductor de legătură la colector; *2'* — bandă textilă pentru consolidare; *3* — izolația între legături.

În anexa II sînt date pentru exemplificare unele soluții folosite la realizarea izolației la capetele de bobină pentru clase de izolații diferite (A, B, F), la înfășurările tip indus de curent continuu.

Conexiunile echipotențiale ;
izolația acestora

În zona capului de bobină la înfășurările tip indus de curent continuu sînt plasate și legăturile echipotențiale în cazul cînd mașina trebuie să fie prevăzută cu astfel de legături.

Din punct de vedere constructiv, conexiunile echipotențiale se pot grupa în trei tipuri, așa cum este reprezentat în fig. 10.15, și anume :

— conexiuni circulare (conexiuni la inele) (fig. 10.15, *a*) ;
— conexiuni frontale (fig. 10.15, *b, c* și *d*) ;
— conexiuni de trecere (fig. 10.15, *e*).

Izolația legăturilor echipotențiale în toate cazurile constă din izolația conductoarelor ce compun această porțiune din înfășurare, izo-

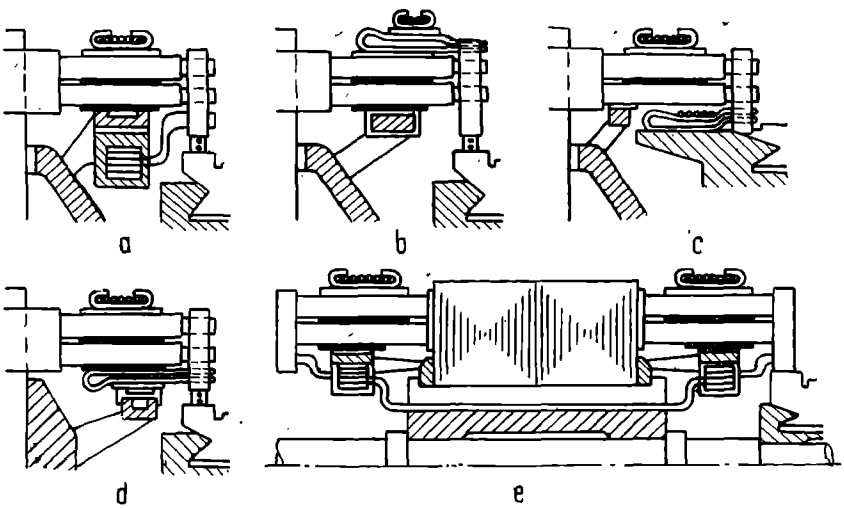


Fig. 10.15. Forme constructive de legături echipotențiale și izolarea acestora : *a* — legături echipotențiale de formă circulară; *b, c, d* — legături echipotențiale frontale; *e* — legături echipotențiale de trecere (de speța a doua și a treia).

lația între conductoarele legăturilor echipotențiale, izolația față de suportul bobinelor și izolația față de sistemul de consolidare (bandaj de consolidare în cazul conexiunilor frontale etc.). Ca materiale electroizolante se folosesc aceleași materiale ca și pentru restul înfășu-

rării, pentru a se realiza aceeași clasă de izolație precum și pentru a corespunde la solicitările de natură electrică corespunzătoare tensiunii nominale a înfășurării tip indus de curent continuu respective.

10.3.4. Izolația înfășurărilor de curent alternativ de joasă tensiune

Dispunerea în crestătură ; izolația în crestătură

Înfășurările de curent alternativ de joasă tensiune se realizează fie cu conductor rotund, fie cu conductor dreptunghiular. În cazul utilizării de conductoare rotunde, la mașinile de puteri mici, înfășurările se realizează fie într-un strat, fie în două straturi, cu bobine egale, cu grupe de bobine concentrice sau cu grupe de bobine egale, în tipurile examinate în capitolul 5. De regulă se folosesc bobinele moi în crestături semiînchise. În unele cazuri se folosesc și crestături închise : crestăturile semideschise și cele deschise se folosesc rar pentru înfășurările de curent alternativ cu conductor rotund. În fig 10.16 sînt reprezentate crestături semiînchise de forme diferite, utilizate la înfășurările de curent alternativ de joasă tensiune cu conductor rotund.

În cazul utilizării conductoarelor de secțiune dreptunghiulară, se folosesc de regulă crestături fie semideschise, fie deschise, așa cum este reprezentat în fig. 10.17. În cazul realizării înfășurărilor cu un număr redus de spire realizate din semispire (bare), în special la rotoarele motoarelor asincrone cu inele de contact, crestăturile pot fi semiînchise, așa cum se arată în fig. 10.17, *e, f* sau închise așa cum se arată în fig. 10.17 *g*.

Elementele ce compun izolația în crestătură la înfășurările de curent alternativ de joasă tensiune, pot fi în general următoarele : izolația *1* a conductorului de bobinaj, izolația *2* între conductoare sau laturile de bobină, izolația *3* a mănunchiului de conductoare ce formează o latură de bobină, izolația *4* între straturi, teaca izolantă *5* a crestăturii (în cazul în care teaca izolantă este formată din mai multe materiale distincte, acestea sînt notate ca în fig. 10.17, *a* și *b*), izolația *6* la fundul crestăturii, izolația 7 sub pana *8* de închiderea crestăturii.

Întrucît la bobinarea mașinilor, teaca izolantă a crestăturii este puternic solicitată în zona de la ieșirea din crestătură, capetele de bobină, în special la conductoarele dreptunghiulare, tinzînd să îndoaie teaca simultan în două direcții opuse așa cum este reprezentat

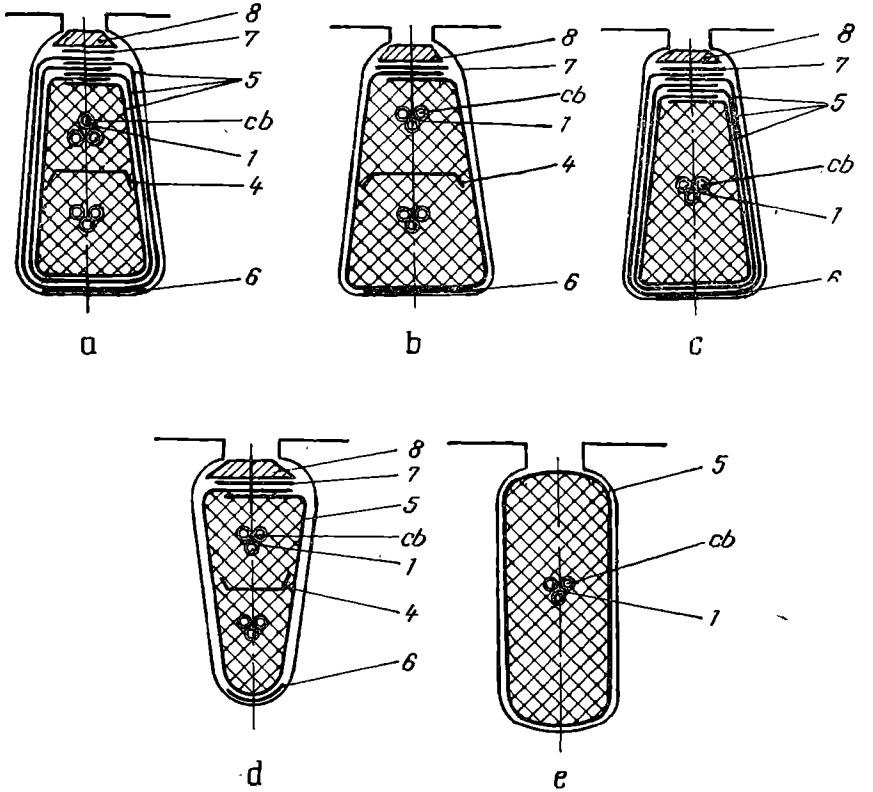


Fig. 10.16. Dispunerea în crestături a înfășurărilor de curent alternativ de joasă tensiune, cu conductor rotund:

a, *b* — crestătură tip pară, statorică, cu înfășurări dispuse în două straturi; *c* — crestătură tip pară, statorică cu înfășurarea dispusă într-un strat; *d* — crestătură tip pară, rotorică, cu înfășurarea dispusă în două straturi; *e* — crestătură semiînchisă cu pereți paraleli pentru înfășurare dispusă într-un strat, cu teacă izolantă continuă.

în fig. 10.18, se iau măsuri de întărire a tecilor izolante în această porțiune. În fig. 10.19 sînt reprezentate trei moduri de consolidare a tecii izolante în această zonă.

La realizarea izolației în crestătură se folosesc de obicei materiale sub formă de foi sau folii (de ex. *3*, *4*, *5*, *6*, *7*, conf. fig. 10.17),

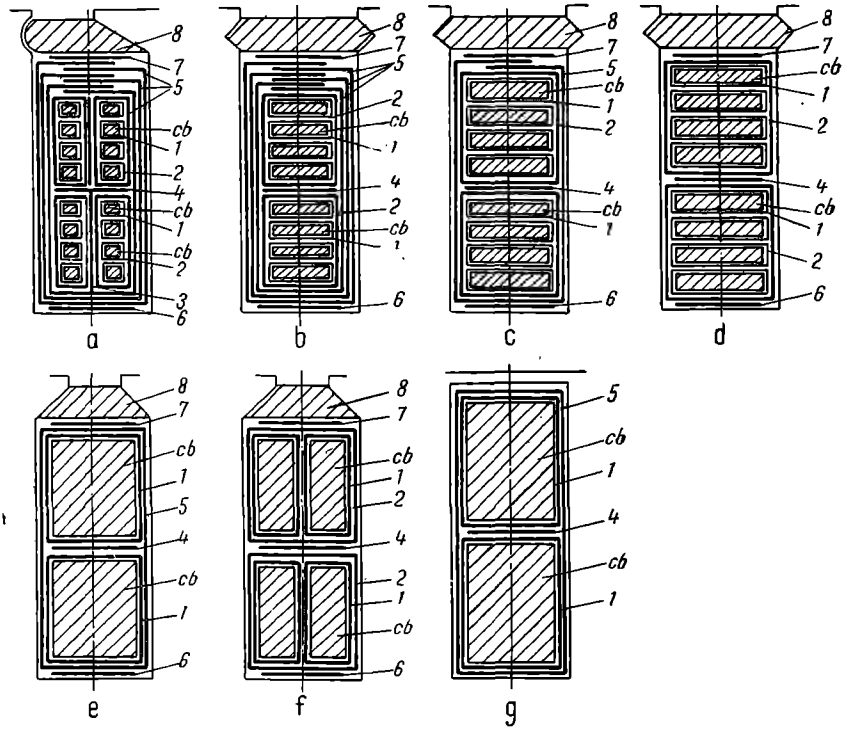
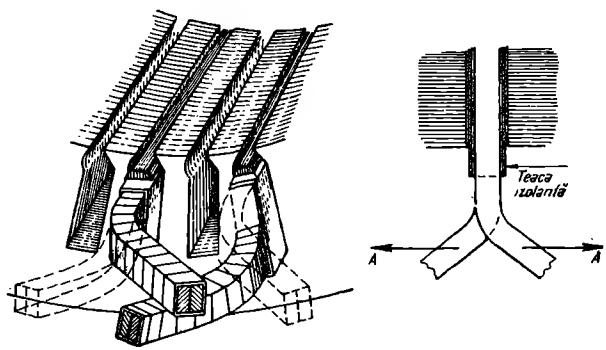


Fig. 10.17. Dispunerea în crestătură a înfășurărilor de curent alternativ de joasă tensiune, cu conductor dreptunghiular :

a — crestătură semideschisă cu pereți paraleli, cu înfășurarea dispusă în două straturi; *b, c, d* — crestături deschise, cu înfășurări dispuse în două straturi; *e, f* — crestături semiînchise, cu pereți paraleli, cu înfășurări dispuse în două straturi; *g* — crestătură închisă cu înfășurarea dispusă în două straturi și cu teaca izolantă continuă.

Fig. 10.18. Modul în care izolația crestăturii (teaca izolantă) este solicitată la ieșirea din crestătură.



benzi izolante sau izolații flexibile (de ex. 2 conf. fig. 10.17), rășini și lacuri electroizolante pentru impregnare. În anexa III sînt date spre exemplificare unele soluții pentru realizarea de izolații în cres-

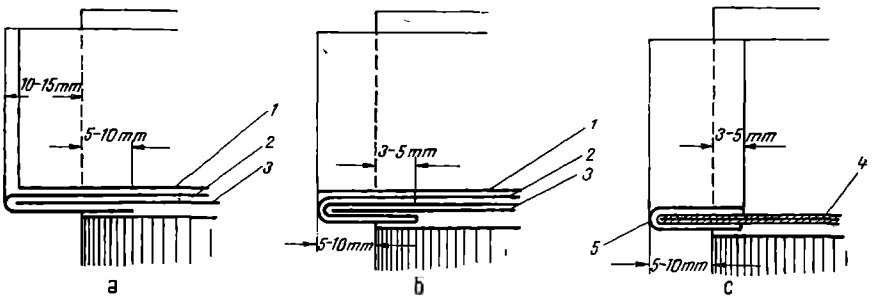


Fig. 10.19. Întărirea izolației crestăturii la ieșirea din crestătură :
a — întărire prin simpla îndoire a pînzei uleiate; *b* — întărire prin dubla îndoire a pînzei uleiate; c — întărire în cazul utilizării izolației combinate, prin bandă izolantă cu autoîncleiere; *1, 3* — preșpan; *2* — pînză uleiată; *4* — izolație combinată în două sau trei straturi; 5 — bandă izolantă cu autoîncleiere.

tătură la joasă tensiune în clase de izolație diferite (A, E, B, F) cu indicarea materialelor utilizate și a dimensiunilor (grosimea) acestora.

Capetele de bobină ;
izolația la capetele de bobină

Formele constructive ale capetelor de bobină la înfășurările de curent alternativ de joasă tensiune sînt variate și depind de tipul conductorului (rotund sau dreptunghiular), de tipul bobinelor, de caracteristicile înfășurării (numărul de poli, numărul de crestături pe pol și fază etc.), de caracteristicile constructive ale înfășurării și ale mașinii etc.

Corespunzător acestor diferite forme constructive și sistemele de izolație ale capetelor de bobină sînt diferite la înfășurările de curent alternativ de joasă tensiune. La realizarea înfășurărilor de joasă tensiune, în special în cazul utilizării de conductoare rotunde, numai în unele cazuri se utilizează izolarea continuă pe suprafața bobinei, ca de exemplu în cazul utilizării de bobine semitari și la dispunerea capetelor de bobină în două sau în trei etaje. La utilizarea conductoarelor dreptunghiulare izolarea suprafeței bobinei este mai frecventă. Deosebit de importantă este izolația între capetele de bobină aparținînd la faze diferite, în special la înfășurările cu conductor rotund (și cu multe spire). Ca materiale pentru izolația la capetele de

bobină se folosesc benzi și materiale sub formă de foi sau folii, în anexele IV și V fiind date pentru exemplificare unle soluții pentru realizarea de izolații în clase de izolație A, E, B, F și H. La alegerea materialelor, (indicate în STAS 1893-65) trebuie avute în vedere solicitările termice ce au loc în funcționarea mașinii pentru a nu se realiza prin alegerea nepotrivită a unor materiale, soluții neeconomice și costisitoare.

10.3.5. Izolația înfășurărilor de curent alternativ de înaltă tensiune

Solicitări specifice în funcționarea înfășurărilor de curent alternativ de înaltă tensiune

Mașinile electrice de curent alternativ ce funcționează la înaltă tensiune (generatoare și motoare sincrone, compensatoare sincrone, motoare asincrone) sînt în general mașini de puteri mari. Datorită mărimii tensiunii nominale, a curentului prin înfășurare și a regimului de lucru la aceste mașini, izolația înfășurărilor de curent alternativ care le echipează este supusă în timpul funcționării la solicitări specifice de natură electrică, termică și mecanică deosebite de acelea întîlnite la înfășurările de joasă tensiune.

În legătură cu solicitările de natură electrică, mărimea acestora este determinată de dispunerea conductoarelor, de dimensiunile și forma constructivă alese, de tipul materialelor izolante folosite și de modul de realizare a izolației. Nu trebuie neglijat faptul că deosebit de importantă pentru evitarea apariției de solicitări electrice locale este uniformitatea caracteristicilor izolației de-a lungul bobinei sau porțiunilor de bobină din crestătură și din zona capului de bobină. Cum izolația înfășurărilor de înaltă tensiune se realizează din materiale stratificate, la confecționarea ei trebuie dată o atenție deosebită pentru evitarea apariției de incluziuni (interstiții) de aer în izolație. Acestea prilejuiesc o distribuție neuniformă a cîmpului electric care duce la solicitări electrice locale intense urmate de apariția de descărcări electrice și chiar de străpungeri ale izolației. În porțiunea din crestătură ca și în zona capului de bobină, efecte similare se produc de-a lungul muchiilor conductorului de bobinaj, o mare importanță avînd modul de realizare a colțurilor izolației, așa cum se indică în fig. 10.20. Rezultă că solicitările electrice de-a lungul muchiilor conductorului izolat se reduc la minimum dacă izolația conductorului

are aceeaşi rotunjire a muchiei ca şi conductorul. În zona capului de bobină, în porţiunea de trecere de la crestături la capul de bobină trebuie dată atenţia cuvenită mai ales atunci cînd se folosesc în aceste părţi materiale izolante diferite sau aşezate diferit.

Solicitările termice sînt consecinţa transmisiei necorespunzătoare prin izolaţie a căldurii produse în conductoare şi se datorează fie

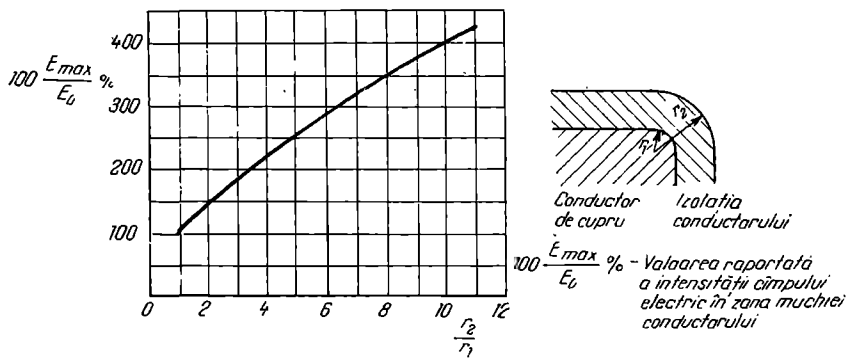


Fig. 10.20. Creşterea solicitării datorită cîmpului electric în zona muchiei conductorului, în funcţie de racordarea în această zonă a conductorului şi izolaţiei acestuia (după H. Meyer);
$100\frac{E_{max}}{E_0}$ % reprezintă valoarea raportată a intensităţii cîmpului electric în zona muchiei conductorului.

alegerii necorespunzătoare a materialelor ce compun izolaţia, fie calităţii necorespunzătoare a execuţiei. Astfel, transmisia de căldură de la conductor la aer la o izolaţie realizată cu mică (50%), fire de sticlă (15%) şi răşini sintetice (35%) este mai bună cu 50% decît aceea a izolaţiei realizată cu mică (25%), şerlac (37,5%) şi hîrtie (37,5%). Prezenţa pungilor de aer în izolaţie înrăutăţeşte transmisia de căldură şi duce la încălziri locale mari. Astfel, din literatură rezultă că prin reducerea cu 1% a acestor interstiţii, transmisia de căldură la sistemul de izolaţie cu mică-şerlac şi hîrtie în grosime totală de 3 mm poate fi îmbunătăţită cu 15%. Intensitatea solicitărilor termice devine şi mai importantă în timpul producerii unor suprasarcini sau a unor curenţi excesivi în funcţionarea maşinii.

Solicitările mecanice, atît cele cu caracter permanent, cît şi cele ce iau naştere în mod accidental în funcţionarea maşinilor trebuie avute în vedere la alegerea sistemului de izolaţie şi la modul de consolidare a înfăşurării.

Izolația mixtă și izolația continuă

La realizarea izolației înfășurărilor de curent alternativ de înaltă tensiune se pot folosi aceleași materiale electroizolante de-a lungul conturului întreg al bobinei dispuse în același mod sau se pot folosi materiale electroizolante diferite în porțiunea din crestătură față de porțiunea din zona capului de bobină, iar uneori chiar în cazul utilizării acelorași materiale, în cele două zone ale înfășurării dispunerea acestor materiale poate fi făcută diferit. De aceea se deosebesc din acest punct de vedere două moduri de realizare a izolației înfășurărilor de înaltă tensiune și anume : izolația continuă (uniformă) și izolația discontinuă (mixtă). Primul sistem se folosește la bobinele tari, al doilea atît la bobinele tari cît și mai ales la bobinele semitari, la care în timpul operațiilor de bobinare a miezului capul de bobină este supus operațiilor de formare.

Din fig. 10.21 reies diferențele constructive între izolația continuă și izolația mixtă.

La dimensionarea izolației pentru a corespunde solicitărilor de natură electrică datorite mărimii tensiunii nominale se poate proceda la adoptarea unei izolații uniforme denumită și izolație plină (aceeași pentru toate spirele înfășurării) sau a unei izolații gradate (în trepte) care ține seama de solicitarea permanentă diferită a izolației diferitelor spire în funcționarea înfășurării, datorită dispunerii diferite a spirelor de-a lungul înfășurării și în crestătură.

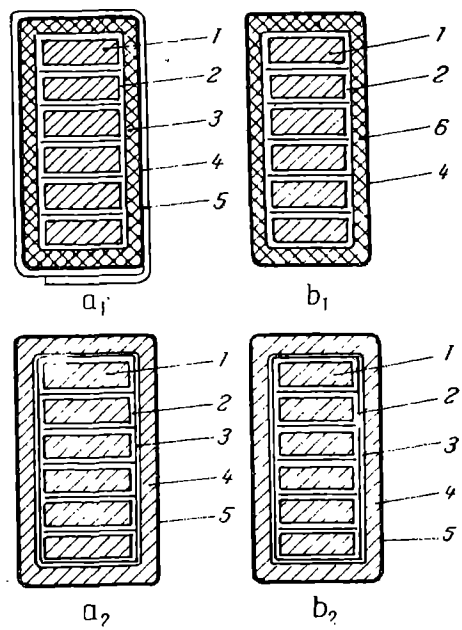


Fig. 10.21. Realizarea izolației mixte și a izolației continue la înfășurările de curent alternativ de înaltă tensiune :

Izolație mixtă: a_1 — în crestătură; b_1 — la capul de bobină; *1* — conductor; *2* — izolația conductorului; *3* — teacă izolantă continuă; *4* — strat de protecție din bandă de bumbac; *5* — teaca izolantă a crestăturii (carton electrotehnic); *6* — strat de bandă din țesătură impregnată și lăcuită.
Izolație continuă: a_2, b_2 — în crestătură și la capul de bobină (identice); *1* — conductor; *2* — izolația conductorului; *3* — strat de consolidare a mănunchiului (bandă țesătură din fire de sticlă); *4* — teacă izolantă continuă; *5* — strat de protecție din bandă de bumbac.

La înfășurările ce funcționează la tensiuni nominale pînă la 10 000 V se folosește de obicei izolația plină în timp ce pentru tensiuni de serviciu mai ridicate este mai indicată izolația în trepte deși și în aceste cazuri poate fi utilizată izolația plină, însă cu dezavantajele supradimensionării locale a acesteia.

Dispunerea în crestătură ;
izolația în crestătură

La dispunerea în crestătură a înfășurărilor de curent alternativ de înaltă tensiune trebuie avut în vedere, în funcție de numărul și secțiunea conductoarelor : tipul izolației (plină sau în trepte), izolația conductoarelor și natura materialelor electroizolante ce urmează a fi folosite pentru realizarea izolației în crestătură.

În ceea ce privește izolația conductorului, la stabilirea acesteia se va ține seamă de tensiunea care apare între două conductoare vecine, care depinde la rîndul ei de modul în care se face înscrierea conductoarelor în înfășurare. În fig. 10.22 sînt reprezentate cele patru moduri posibile de parcurgere a conductoarelor înfășurării într-o crestătură.

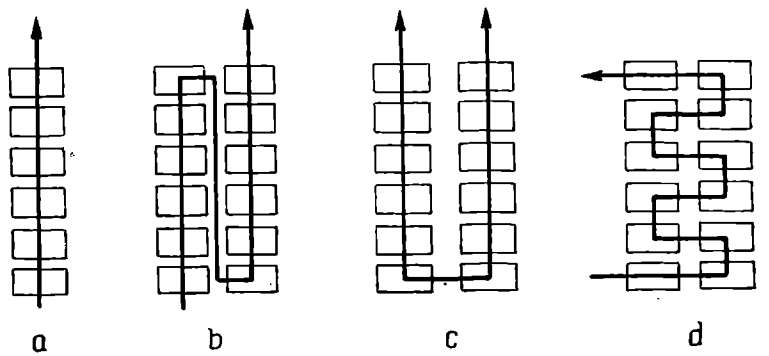


Fig. 10.22. Moduri de înseriere a spirelor, respectiv a conductoarelor, în crestăturile mașinilor de înaltă tensiune, de curent alternativ :
a — înfășurare longitudinală; *b*, *c* — înfășurare longitudinală în mai multe secțiuni; *d* — înfășurare transversală.

Referitor la tensiunea ce se poate produce între două conductoare vecine, trebuie reținut faptul că la înfășurările de înaltă tensiune nu tensiunea pe spiră (10 ... 150 V) este determinată, ci supratensiunile ce se pot transmite din rețea în înfășurare conduc la diferențe de potențial electric mari între două conductoare, așa cum este cazul la dispunerea longitudinală în mai multe secțiuni (*b* în fig.

10.22) sau la dispunerea transversală (c în fig. 10.22) a conductoarelor în crestătură. În cazul înfășurărilor de înaltă tensiune prevăzute cu circulația fluidului de răcire prin conductor, izolația conductoarelor și izolația între conductoarele legate în paralel se stabilește conform cu forma constructivă a conductorului, așa cum este reprezentat în figura 10.23.

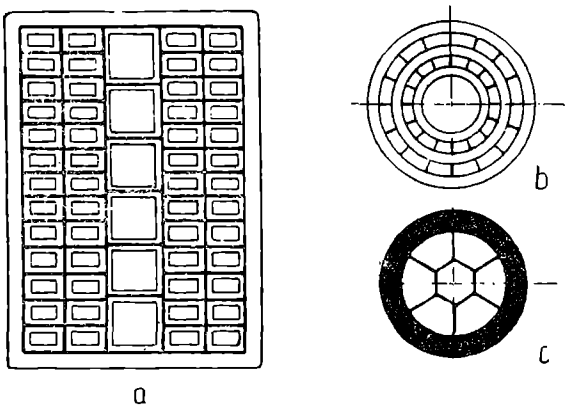


Fig. 10.23. Sisteme de izolație la utilizarea de conductoare cu circulație interioară a mediului de răcire :

a — la o înfășurare pentru tensiuni pînă la 25 kV (după H. Meyer); *b* — la o înfășurare de 33 kV (după Parsons și Rosen); *c* — la o înfășurare de 36 kV (sistem BBC).

Dispunerea în crestătură a conductoarelor și a elementelor izolației la înfășurările cu izolație plină, pentru tensiuni pînă la 10 000 V, este reprezentată în figura 10.24. Pentru tensiuni mai mari de 10 000 V în fig. 10.25, *a*, *b* sînt reprezentate exemple de izolație realizată în trepte, iar în figura 10.25, *c*, este dat un exemplu de izolație plină pentru 110 000 V.

Elementele ce compun izolația în crestătură sînt evidențiate în fig. 10.24 și anume : izolația conductorului de bobinaj *1*, izolația între conductoare *2*, izolația mănunchiului (teaca izolantă) *3*, izolația între straturi *4*, teaca izolantă a crestăturii *5*, izolația la fundul crestăturii *6*, izolația sub pană *7*, pana de închiderea crestăturii *8*.

Materialele electroizolante ce se folosesc în mod curent pentru realizarea izolației în crestăturile înfășurărilor de 3 000 și 6 000 V sînt indicate în tabela 10.2.

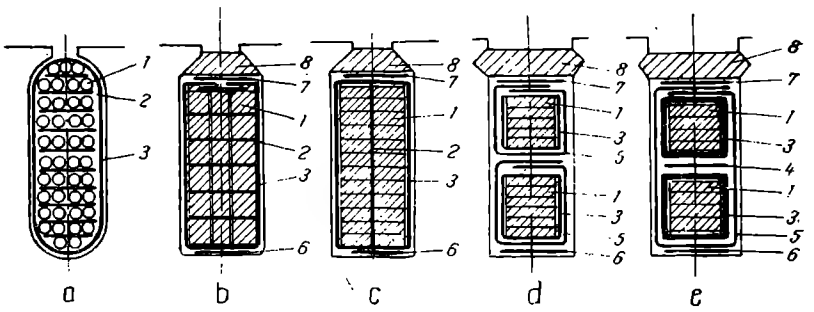


Fig. 10.24. Dispunerea în crestătură a înfășurărilor de curent alternativ de înaltă tensiune (sub 10 000 V), izolație plină :

1 — conductor izolat; *2* — izolație între conductoare; *3* — teacă izolantă a mănunchiului; *4* — izolația între straturi; *5* — teaca izolantă a crestăturii; *6* — izolația la fundul crestăturii; *7* — izolația sub pană; *8* — pana de închidere a crestăturii.

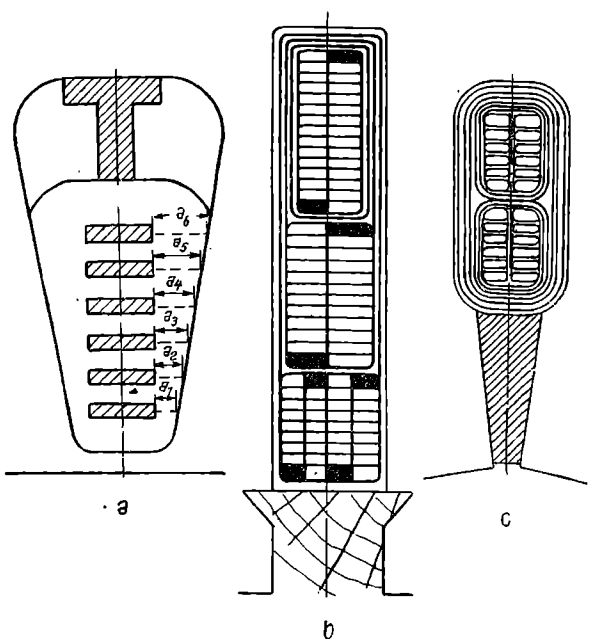


Fig. 10.25. Dispunerea în crestătură a conductoarelor și izolației, la înfășurări de înaltă tensiune :

a — înfășurare de 35 kV cu izolația în trepte (crestătură închisă); *b* — înfășurare de 31,5 kV cu izolația în trepte (crestătură deschisă); *c* — înfășurare de 110 kV cu izolație uniformă (crestătură semiînchisă).

Materiale electroizolante utilizate în construcția izolației la înfășurările de curent alternativ pentru tensiuni de 3 000 și 6 000 V

Denumirea izolației	Material electroizolant		Grosimea totală a izolației (mm) în crestătură			
	Denumirea	Grosimea (mm)	pe lățime		pe înălțime	
			la tensiunea nominală (V)			
			3 000	6 000	3 000	6 000
Izolația conductorului	Fire de sticlă	v. cap. 2				
Izolația între conductoare (spire)	Țesătură de sticlă impregnată cu rășini sintetice	0,2	În funcție de dispunerea conductoarelor (spirelor) în crestătură			
	micafoliu	0,2				
Izolația mănunchiului	Micafoliu+	0,13	2,6	4,68	2,6×2	4,68×2
	+țesătură	0,25	0,5	0,5	0,5×2	0,5×2
Izolația între straturi	Carton electrotehnic impregnat	0,8	—	—	0,8	0,8
Teaca izolantă a crestăturii	idem	0,5	0,5×2	0,5×2	0,5×3	0,5×3
Izolația la fundul crestăturii	idem	0,3	—	—	0,3	0,3
Izolația sub pană	idem	0,5	—	—	0,5	0,5

Pentru tensiuni mai mari ca 6 000 V se folosesc în general materiale pe bază de mică foiță, cu suport din țesătură din fire de sticlă și cu rășini sintetice, cu o structură cît mai compactă și mai uniformă în diferitele porțiuni ale izolației.

La stabilirea grosimii tecii izolante a mănunchiului în crestătură se recomandă a se folosi indicațiile din tabela 10.3 pentru izolația mixtă și respectiv din tabela 10.4 pentru izolația continuă.

În ultimii ani, paralel cu metodele devenite clasice, pentru izolarea înfășurărilor de înaltă tensiune, s-a extins realizarea izolației

Tabela 10.3

Dimensiunile tecii izolante la înfășurări de curent alternativ de înaltă tensiune, în cazul izolației mixte

Denumirea izolației	Tensiunea nominală a înfășurării V	Grosimea materialului mm	Grosimea bilaterală a izolației bobinei, mm						
			pe lățime		pe înălțime				
			pentru un număr de conductoare egal cu:						
			1	2	6	7	8	9	10
Tuburi de micanită	3 150	0,15	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	6 300	0,25	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Izolația spirelor	6 300	0,2	—	—	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Îngroșarea izolației conductorului prin impregnare	—	—	0,1	0,2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Total pentru o bobină	3 150	—	2,6	2,7	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
	6 300	—	4,6	4,7	6,1	6,4	6,7	7,0	7,5

Tabela 10.4

Dimensiunile tecii izolante la înfășurările de curent alternativ de înaltă tensiune, în cazul izolației continue

Denumirea izolației	Tensiunea nominală a înfășurării V	Grosimea materialului mm	Grosimea bilaterală a izolației bobinei, mm						
			pe lățime		pe înălțime				
			pentru un număr de conductoare egal cu:						
			1	2	6	7	8	9	10
izolația spirelor: carton electrotehnic, micanită	3 150	0,1	—	—	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	6 300	0,2	—	—	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Micabandă	3 150	0,13	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
	6 300	0,13	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Bandă de bumbac un strat (cap la cap)	—	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Lăcuirea benzii	—	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Îngroșarea izolației conductorului prin impregnare	—	—	0,1	0,2	0,6	0,8	0,8	0,9	1,0
Total pentru o bobină	3 150	—	4,2	4,3	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0
	6 300	—	6,1	6,2	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8

mănunchiului cu ajutorul micabenzilor pe suport din fire de sticlă cu liant format din rășini sintetice. S-au dezvoltat două tipuri de benzi : benzi cu conținut ridicat de rășină și benzi cu conținut redus de rășină. Primele se aplică de-a lungul conturului bobinei prin presare la cald ; conținutul de rășină din componența micabenzii este suficient pentru a ocupa toate interstițiile și să dea astfel o izolație cu structură uniformă, cu proprietăți electrice, mecanice și termice mult superioare sistemului clasic. În fig. 10.26 este reprezentată o secțiune printr-o latură de bobină realizată cu o astfel de izolație. La utilizarea celui de al doilea tip de micabandă trebuie adăugat conținutul de rășină necesar în final, după aplicarea benzii de-a lungul conturului bobinei, printr-o operație suplimentară de impregnare. Utilizarea acestui din urmă tip de micabandă are ca avantaj major față de micabanda cu conținut mare de rășină faptul că poate fi păstrată în condițiuni bune un timp mult mai lung pînă a fi folosită.

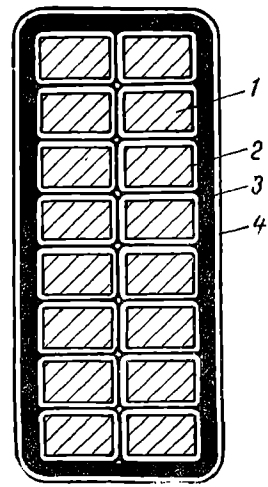


Fig. 10.26. Izolație cu micabandă și rășini sintetice și izolație cu micafoliu cu șerlac (după 15 ore la 120 °C) (după H. Meyer).

La tensiuni nominale mai mari ca 22 000 V, pentru a se reduce posibilitatea apariției de solicitări electrice locale datorită eventualelor interstiții rămase între ansamblul bobinei și peretele crestăturii, se aplică pe suprafața tecii izolante o peliculă de lac cu grafit (strat conductor) și deasupra acestuia un strat semiconductor din azbest sau dintr-o peliculă de lac de acoperire.

Izolația la capul de bobină

La realizarea izolației la capul de bobină se ține seama nu numai de tipul constructiv al izolației (mixtă sau continuă), ci și de solicitările electrice ce au loc în special în zona de trecere de la porțiunea din crestătură la capul de bobină.

În fig. 10.27 este reprezentată construcția izolației în zona capului de bobină și a cotului la utilizarea izolației mixte.

Dimensiunile izolației și dispunerea materialelor se va face conform cu recomandările din tabela 10.5. În ceea ce privește izolația în porțiunea de curbură (cotul bobinei), dimensiunile și numărul de

straturi se aleg conform cu recomandările din tabela 10.6 iar pentru capetele de legătură, a căror construcție este indicată în fig. 10.28, izolația se realizează conform cu recomandările date în tabela 10.7.

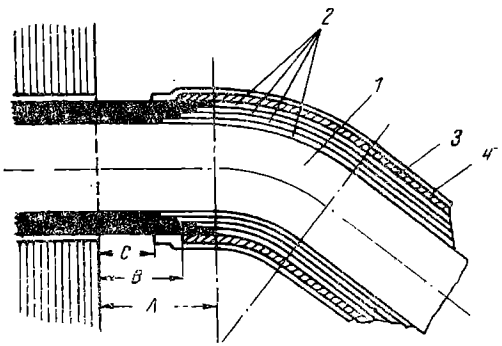


Fig. 10.27. Elementele constructive ale izolației mixte a curburii bobinei:

1 — bobina; *2* — teacă din micafoliu; *3* — bandă de țesătură lăcuită; *4* — bandă de bumbac.

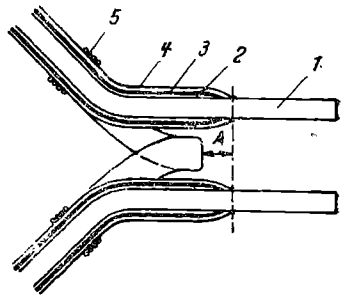


Fig. 10.28. Izolatia mixtă a capetelor de legătură:

1 — conductorul; *2* — bandă de mică; *3* — banda de țesătură impregnată și lăcuită; *4* — bandă de bumbac; *5* — bandaj de sfoară.

Tabela 10.5

Dimensiunile izolației (mm) la capul de bobină la înfășurările de curent alternativ de înaltă tensiune cu izolația mixtă

Denumirea izolației	Tensiunea nominală a înfășurării V	Grosimea materialului mm	Grosimea bilaterală a izolației bobinei, mm						
			pe lățime		pe înălțime				
			pentru un număr de conductoare egal cu:						
			1	2	6	7	8	9	10
Bandă lăcuită jumătate suprapus	3 150	0,2×3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
	6 300	0,2×5	4,0	4,0	2,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Bandă de bumbac	—	0,2×1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Izolarea spirelor cu bandă de bumbac	6 300	0,15×1	0,3	0,4	0,9	1,2	1,2	1,5	1,5
Toleranță pt. umflare	—	—	1,0	1,5	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Total pt. o bobină	3 150	—	4,2	4,7	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2
	6 300	—	6,1	6,6	6,9	7,4	7,6	8,1	8,3

Tabela 10.6

Dimensiunile izolației la capul de bobină (mm) la înfășurări de curent alternativ de înaltă tensiune cu izolație mixtă (fig. 10.27)

Tensiunea nominală a înfășurării V	Distanțe minime, mm			Numărul de straturi la utilizare de:		
	A	*B*	*C*	micabandă	pînză lăcuită	bandă de bumbac
3 150	35	15	10	3	1	1
6 300	60	25	15	5	1	1

Tabela 10.7

Distanțe minime de izolare și numărul de straturi la capetele de legătură ale înfășurărilor de curent alternativ de înaltă tensiune, în sistemul izolației mixte (fig. 10.28)

Tensiunea nominală a înfășurării V	Valoarea minimă a dimensiunii *A* mm	Numărul de straturi la utilizare de		
		micabandă	pînză lăcuită	bandă de bumbac
3 150	10	—	2	1
6 300	15	2	2	1

În cazul utilizării izolației continue, izolația pe suprafața mănunchiului capului de bobină fiind aceeași ca și în crestătură, se recomandă aplicarea indicațiilor date în tabela 10.4. Zona de curbură în acest caz se izolează așa cum este reprezentat în fig. 10.29, distanțele *A* și *B* alegîndu-se conform recomandărilor din tabela 10.8. Izolarea legăturilor se realizează de data aceasta conform reprezentării din fig. 10.30, distanțele și numărul de straturi alegîndu-se conform recomandărilor din tabela 10.9.

Tabela 10.8

Dimensiunile izolației (mm) curburii capului de bobină la înfășurări de curent alternativ de înaltă tensiune în sistemul izolației uniforme (fig. 10.29)

Tensiunea nominală a înfășurării V	Distanțele minime mm	
	A	*B*
3 150	25	15
6 300	40	25

Tabela 10.9

Distanțele minime de izolare (mm) și numărul de straturi ale izolației la capetele de legătură ale înfășurărilor de curent alternativ de înaltă tensiune în sistemul izolației uniforme (fig. 10.30)

Tensiunea nominală a înfășurării V	Valosrea minimă a dimensiunii *A* mm	Numărul de straturi de micabandă
3 150	10	3
6 300	15	5

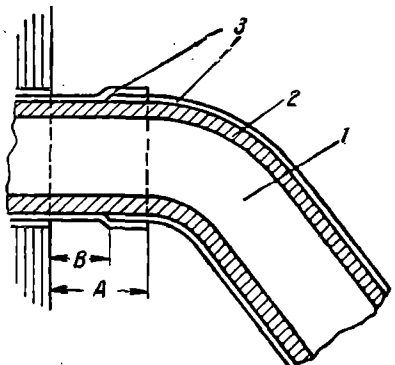


Fig. 10.29. Izolarea curburii bobinei în sistemul izolației uniforme :
1 — conductor da bobinaj; *2* — izolația din micabandă; *3* — bandă dø bumbac.

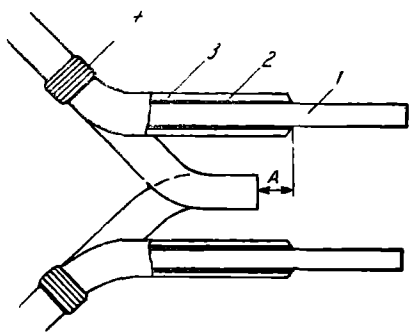


Fig. 10.30. Izolarea uniformă a capetelor pentru legături :
1 — conductorul; *2* — micabandă; *3* — bandă de bumbac; *4* — bandaj de sfoară.

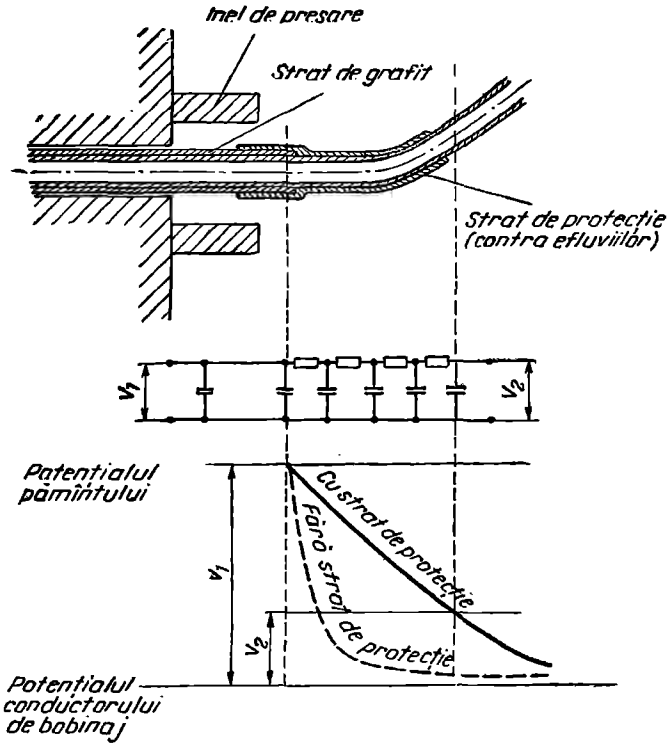


Fig. 10.31. Distribuția potențialului în zona de trecere de la porțiunea din crestătură la capul de bobină, cu și fără strat de protecție contra efluviilor (după H. Meyer — Die Isolierung grösser elektrischer Maschinen).

În cazul tensiunilor mai mari de 6 300 V, la realizarea izolării porțiunii cotului trebuie ținut seamă de solicitările electrice produse de variația bruscă a potențialului de-a lungul bobinei.

În fig. 10.31 este reprezentată distribuția potențialului în zona de trecere de la crestătură la capul de bobină în două variante de realizare a izolației, cu și fără strat suplimentar de protecție contra apariției de curenți de suprafață și respectiv efluvii (strat semiconductor de rezistență mare). Din această reprezentare rezultă că în lipsa stratului semiconductor apare o variație bruscă a potențialului electric, cu consecințe asupra comportării izolației. Pentru obținerea unei repartiții uniforme a potențialului electric, se recomandă aplicarea soluțiilor reprezentate în fig. 10.32, *a* și *b*.

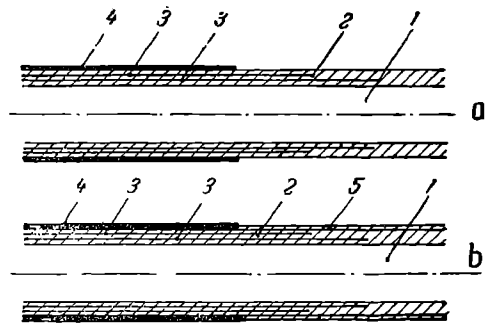


Fig. 10.32. Dispunerea izolației în zona de trecere crestătură-cap de bobină, pentru îmbunătățirea distribuției potențialului electric: *1* — conductor; *2* — teacă izolantă; *3* — strat rezistiv semiconductor; *4* — strat conductor cu grafit; *5* — strat rezistiv exterior (după H. Meyer).

10.4. DIMENSIUNILE ÎNFĂȘURĂRILOR

Stabilirea dimensiunilor bobinelor formează o etapă importantă atît în calculul mașinilor noi cît și în timpul execuției înfășurărilor. Odată stabilite dimensiunile bobinelor, în baza acestora se pot determina consumurile de materiale electroizolante necesare realizării izolației în crestătură și la capul de bobină și consumul de conductoare de bobinaj. Cu ajutorul dimensiunilor bobinelor se determină rezistența electrică a înfășurărilor precum și unele caracteristici de funcționare ale mașinilor respective.

În toate cazurile, și la mașinile noi ca și la mașinile ce se repară, pentru determinarea dimensiunilor bobinelor se pornește de la elementele constructive. La mașinile noi, se pornește de la datele principale ale înfășurării stabilindu-se din aproape în aproape soluția constructivă a acestora, dimensiunile crestăturii și ale izolației și apoi dimensiunile bobinelor folosind relațiile de calcul date în capitolul

de față. În cazul mașinilor ce se repară, trebuind a fi reproduse toate dimensiunile bobinelor ce se înlocuiesc în aceeași construcție, este indicat să se procedeze cu o grijă deosebită la scoaterea bobinelor din crestătură, în special la bobinele semitari și tari.

Principalele dimensiuni ale înfășurărilor, sînt :

— dimensiunile conductorului de bobinaj, neizolat și izolat, cu secțiunea conductorului ;

— dimensiunile mănunchiului bobinei în crestătură și în zona capului de bobină ;

— dimensiunile bobinelor în porțiunea din crestătură și din zona capului de bobină.

10.4.1. Dimensiunile conductorului de bobinaj

La stabilirea dimensiunilor conductorului de bobinaj se pornește de la valoarea curentului prin înfășurare I_a, calculîndu-se aria secțiunii necesare a conductorului. Dimensiunile conductorului se determină pentru conductorul neizolat ca și pentru conductorul izolat, acestea din urmă fiind necesare la calculul dimensiunilor mănunchiurilor bobinelor și a dimensiunilor crestăturii.

Aria secțiunii conductorului se calculează cu relația

$$s_{cond} = \frac{I_a}{J_a} \quad [\text{mm}^2] \tag{10.1}$$

unde :

I_a este curentul prin înfășurare, în A ;

J_a — densitatea de curent stabilită conform tabelei 10.10, în A/mm^2.

Tabela 10.10

Valori admisibile pentru densitatea de curent J_a [A/mm^2] la înfășurările repartizate de curent continuu și de curent alternativ

Tipul înfășurării	Densitatea de curent J_a [A/mm^2] admisibilă pentru clasa de izolație a înfășurării:		
	A, E	B, F	H
Înfășurări tip indus de curent continuu	3—5	4—6	5—7
Înfășurări de curent alternativ din rotor	3—5,5	4—6,5	5—7,5
Înfășurări de curent alternativ din stator	3—5	3,5—5,5	4,5—6,5

Dimensiunile secțiunii conductorului rezultă din aria secțiunii calculată și anume :

— la conductoarele rotunde, diametrul d [mm] se calculează cu :

$$d = \sqrt{\frac{4 s_{cond}}{3{,}14}} \quad [\text{mm}] \tag{10.2}$$

și se încadrează în valorile indicate în STAS 685-59, STAS 542-59, STAS 543-59

— la conductoarele dreptunghiulare, dimensiunile a și b (v. fig. 2.1) se încadrează în valorile din STAS 2873-55 pentru valori cît mai aproape de valoarea calculată pentru s_{co}

După stabilirea dimensiunilor d sau $a \times b$ se calculează densitatea de curent J_a [A/mm^2].

$$J_a = \frac{I_a}{s_{cond}} \quad [\text{A/mm}^2] \tag{10.3}$$

care trebuie să fie cuprinsă între limitele date în tabela 10.10.

10.4.2. Dimensiunile mănunchiului bobinei

Ca dimensiuni ale mănunchiului bobinei, atît în porțiunea din crestătură cît și în zona capetelor de bobină, se determină înălțimea h_m și lățimea b_m (v. fig. 10.33). În cazul înfășurărilor cu con-

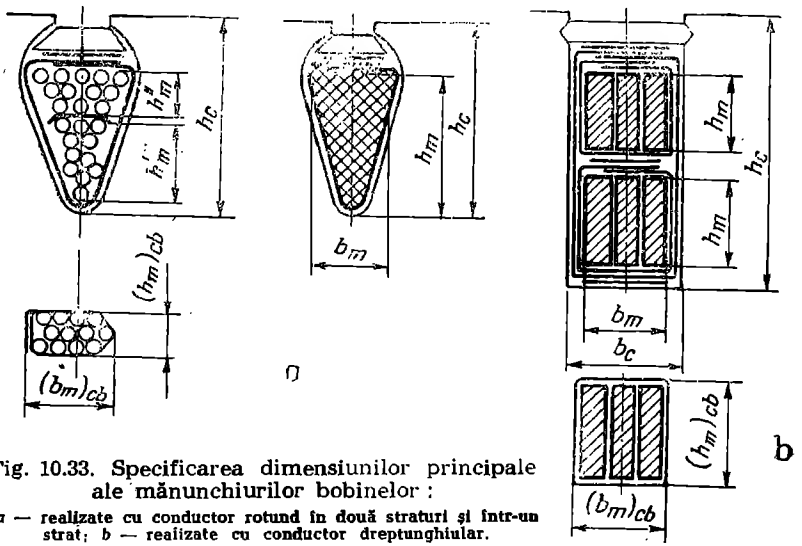


Fig. 10.33. Specificarea dimensiunilor principale ale mănunchiurilor bobinelor :

a — realizate cu conductor rotund în două straturi și într-un strat; *b* — realizate cu conductor dreptunghiular.

ductor rotund aceste dimensiuni nu au sens în porțiunea din crestătură, în zona capetelor de bobină dispunerea conductoarelor spirelor bobinei făcîndu-se așa cum se arată în fig. 10 33, *a*. La înfășurările cu conductoare dreptunghiulare, realizate cu bobine formate dintr-o spiră sau semispiră (bară), dimensiunile mănunchiului bobinei sînt aceleași cu ale conductorului izolat.

Determinarea dimensiunilor mănunchiului în crestătură

Înainte de determinarea dimensiunilor mănunchiului bobinei pe porțiunea din crestătură trebuie să fie stabilite atît dispunerea conductoarelor în crestătură și a elementelor izolației, cît și dimensiunile tuturor acestora. Din motive constructive și de natură tehnologică cunoscute, existînd legătură strînsă între dimensiunile mănunchiului bobinei și ale crestăturii, stabilirea acestora nu poate fi făcută independent. De aceea la mașinile noi, ce se proiectează, dimensiunile crestăturii se stabilesc odată cu ale mănunchiului bobinei, iar la mașinile ce se repară, înainte de a stabili dimensiunile mănunchiului, trebuiesc precizate dimensiunile crestăturii.

În general, la un mănunchiu avînd n_x conductoare dispuse pe lățime și n_y conductoare pe înălțime, dimensiunile conductorului izolat fiind $a' \times b'$, pentru dimensiunile h_{mcr} și b_{mcr} ale mănunchiului în porțiunea din crestătură, se pot folosi relațiile de calcul :

$$h_{mcr} = n_y \cdot b' + \Delta_{izy} + \sum y \quad [\text{mm}] \tag{10.4}$$

și

$$b_{mcr} = n_x \cdot a' + \Delta_{izx} + \sum x \quad [\text{mm}] \tag{10.5}$$

unde : Δ_{izy} rezultă din însumarea tuturor grosimilor izolației după direcția axei y (pe înălțime), iar Δ_{izc} are aceeași semnificație dar după direcția axei x (pe lățime) ;

$\sum y$ este jocul pe înălțime și se calculează cu relația

$$\sum y = 0{,}05\, n_y \quad [\text{mm}] ; \tag{10.4, a}$$

$\sum x$ este jocul pe lățime și se calculează cu relația

$$\sum x = 0{,}05\, n_x + 0{,}2 \quad [\text{mm}]. \tag{10.5, a}$$

Pentru o corectă corelare a dimensiunilor mănunchiului cu ale crestăturii, în practică se procedează astfel : se stabilesc toate materialele ce intră în componența izolației în crestătură, făcîndu-se schița crestăturii cu dispunerea înfășurării în crestătură pe fișa dată în anexa VI la punctul 1 (unde ca exemplu s-au reprezentat schițele unei înfășurări de tip indus de c. c. cu conductor dreptunghiular în

crestătură deschisă). Se completează apoi tabelul din aceeași fișă la pct. 2 (anexa VI) și din însumarea pe înălțime și pe lățime a dimensiunilor rezultate se obțin $h_{m\,cr}$ și $b_{m\,cr}$, respectiv h_c și b_c.

Factorul de umplere a crestăturii

În stabilirea modului de așezare a conductoarelor în crestătură, avîndu-se în vedere dimensiunile crestăturii, ale conductoarelor de bobinaj și ale elementelor izolației în crestătură este necesar să se verifice modul în care secțiunea crestăturii este utilizată prin introducerea înfășurării. Această verificare este cu atît mai importantă cu cît formează un indiciu asupra posibilităților de realizare a înfășurării, știut fiind faptul că operația de bobinare (ca posibilități și ca timp necesar) depinde în foarte mare măsură de așezarea conductoarelor în crestătură. În acest scop, se calculează *factorul de umplere a crestăturii* cu relația

$$k_u = \frac{N_{cr} \cdot s_{cond}}{s_{cr}} \tag{10.6}$$

unde :

N_{cr} este numărul de conductoare în crestătură ; acesta se determină la rebobinarea mașinii prin numărarea conductoarelor dintr-o crestătură la scoaterea înfășurării defecte din crestătură, iar în cazul unei mașini noi se stabilește cu relația :

$$N_{cr} = \frac{n_p N}{Z} \tag{10.7}$$

n_p fiind numărul de conductoare în paralel cu care se execută înfășurarea ;

N — numărul total de conductoare stabilit prin calcul ; (la înfășurările de curent alternativ $N = 2\ mwa$) ;

Z — numărul total de crestături ale indusului ;

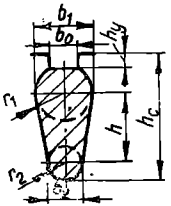
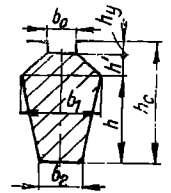
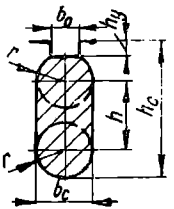
s_{cond} — aria secțiunii unui conductor neizolat, care în cazul conductoarelor rotunde se calculează cu relația

$$s_{cond} = 0{,}785\ d^2;$$

s_{cr} — aria secțiunii totale a crestăturii (secțiunea de ștanțare) care se stabilește în funcție de tipul și dimensiunile acesteia. În tabela 10.11 sînt date, pentru cele mai uzuale tipuri de crestături, formulele de calcul ale secțiunii totale a crestăturii.

Tabela 10.11

Formulele de calcul al secțiunii crestăturii pentru tipurile uzuale de crestături

Nr. curent	Tipul crestăturii	Relațiile de calcul ale secțiunii		Observații
		totale	nete	
1		$s_{cr}=1,57\,(r_1^2+r_1^2)+h\,(r_1+r_2)$ $h=h_c-r_1-r_2-h_y$	$s'_{cr}=1,57\,(r_2-\Delta)^2+$ $+0,5\,(b_1+b_2-2\Delta)+$ $+1,57\,[r_1-\Delta-0,5\,h_p\,(b_{1p}+b_{2p})]$	$\Delta=\Delta_{tz}+0,1$ [mm] Δ_{tz} este grosimea peretelui tecii izolante a crestăturii, în mm h_p, b_{1p}, b_{2p} — dimensiunile penei, *) în mm.
2		$s_{cr}=0,5\,h\,(b_1+b_2)+0,5\,h'\cdot$ $\cdot(b_1+b_0);\quad h=h_c-h'-h_y$	$s'_{cr}=0,5\,h(h-\Delta)\,(b_1+b_2-2\Delta)+$ $+0,5\,h'\,(b_1+b_0-4\Delta)-$ $-0,5\,h_p\,(b_{1p}+b_{2p})$	Idem
3		$s_{cr}=0,785\,b_c^2+hb_c$ $h=h_c-b_c-h_y$	$s'_{cr}=0,785\,(h_c-2\Delta)^2+$ $+h\,(b_c-2\Delta)-0,5\,h_p\,(b_{1p}+b_{2p})$	Idem

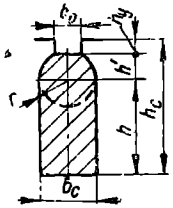
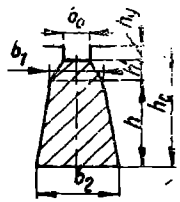
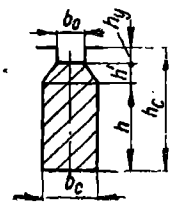
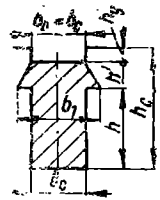
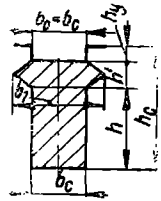
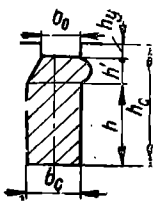
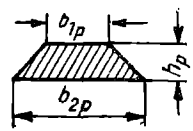
4		$s_{cr}=b_c h+0{,}5\,h'\,(b_c+b_0)$ $h=h_c-h'-h_y$	$s'_{cr}=(b_c-2\Delta)\,(h-\Delta)+$ $+0{,}5\,h'\,(b_c+b_0-4\,\Delta)-$ $-0{,}5\,h_p\,(b_{1p}+b_{2p})$	$\Delta=\Delta_{tz}+0{,}1$ [mm] Δ_{tz} este grosimea peretelui tecii izolante a cusăturii, în mm. h_p, b_{1p}, b_{2p} — dimensiunile penei, *) în mm.
5		$s_{cr}=b_c h+0{,}392\,b_c^2$ $h=h_c-h'-h_y$	$s'_{cr}=(b_c-2\,\Delta)\,(h-\Delta)+$ $+0{,}392\,(b_c-2\,\Delta)^2-$ $-0{,}5\,h_p\,(b_{1p}+b_{2p})$	Idem
6		$s_{cr}=0{,}5\,h\,(b_1+b_2)+0{,}5\,h'\,(b_1+b_0)$ $h=h_c-h'-h_y$	$s'_{cr}=0{,}5\,(h-\Delta)\,(b_1+b_2-2\,\Delta)+$ $+0{,}5\,h'\,(b_1+b_0-4\,\Delta)-$ $-0{,}5\,h_p\,(b_{1p}+b_{2p})$	Idem

Tabela 10.11 (continuare)

Nr. curent	Tipul crestăturii	Relațiile de calcul ale secțiunii		Observații
		totale	nete	
7		$s_{cr}=b_c\,h+0{,}5\,h'\,(b_c+b_1)$ $h=h_c-h'-h_y$	$s'_{cr}=(b_c-2\,\Delta)\,(h-\Delta)+$ $+0{,}5\,h'\,(b_c+b_1-4\,\Delta)-$ $-0{,}5\,h_p\,(b_{1p}+b_{2p})$	$\Delta=\Delta_{tz}+0{,}1$ [mm] Δ_{tz} este grosimea a peretelui tecii izolante a cusăturii, în mm. h_p, b_{1p}, b_{2p} — dimensiunile penei, *) în mm.
8		$s_{cr}=b_1 h+0{,}5\,h'\,(b_c+b_1)$ $h=h_c-h'-h_y$	$s'_{cr}=(b_c-2\,\Delta)\,(h-\Delta)+$ $+0{,}5\,h'\,(b_c+b_1-4\,\Delta)-$ $-0{,}5\,h_p\,(b_{1p}-b_{2p})$	Idem
9		$s_{cr}=b_c h+0{,}5\,h'\,(b_c+b_0)$ $h=h_c-h'-h_y$	$s'_{cr}=(b_c-2\,\Delta)\,(h-\Delta)+$ $+0{,}5\,h'\,(b_c+b_0-4\,\Delta)-$ $-0{,}5\,h_p\,(b_{1p}+b_{2p})$	Idem

*) Dimensiunile penei se notează conform schiței :



În funcție de tipul crestăturii și al conductoarelor, valoarea factorului de umplere a crestăturii k_u trebuie să se încadreze între anumite limite pentru a se putea realiza în condițiuni bune înfășurarea. În tabela 10.12 sînt indicate limitele valorilor factorului de umplere k_u a crestăturii pentru tipurile uzuale de crestături și de înfășurări.

Tabela 10.12

Valori uzuale pentru coeficientul de utilizare a crestăturii k_f

Tipul crestăturii	Valoarea factorului de umplere k_u pentru	
	Înfășurări într-un strat	Înfășurări în două straturi
Crestături trapezoidale cu rotunjiri mici la unghiuri și la fundul crestăturii	0,36—0,43	0,33—0,40
Crestături ovale și cu contur circular	0,40—0,48	0,36—0,43

Se numește *factor de umplere* al bobinei raportul

$$k_{u_1} = \frac{N_{cr} \cdot d_{iz}^2}{s'_{cr}} \qquad (10.8, a)$$

unde :

d_{iz} este diametrul izolat al conductorului în mm ;

s'_{cr} — aria secțiunii nete a crestăturii care se obține scăzînd din suprafața totală suprafața penei și a izolației crestăturii, iar dimensiunile crestăturii considerate *în lumină* adică după reducerea cu 0,1 mm atît a lățimii cît și a înălțimii pentru luare în considerare a toleranțelor de ștanțare și împachetare.

La conductorul dreptunghiular, factorul de umplere devine :

$$k_{u2} = \frac{N_{cr} \cdot a' \times b'}{s'_{cr}} \qquad (10.8, b)$$

a' și b' fiind dimensiunile conductorului izolat.

Valoarea factorului de umplere k_{u_1} este cuprinsă pentru mașini cu puteri între 30 și 100 kW între un minim economic (0,65 ... 0,68) și un maxim posibil tehnologic (0,75 ... 0,82 ; la puteri mai mici valoarea factorului de umplere poate fi mai mică. La mașinile cu con-

ductoare dreptunghiulare și cu număr redus de conductoare elementare în crestătură, valoarea factorului de umplere atinge valori mai ridicate.

Dimensiunile mănunchiului în zona capului de bobină

În cazul înfășurărilor cu conductor rotund, înălțimea h_{mcb} și lățimea b_{mcb} în zona capului de bobină se determină după stabilirea dispunerii conductoarelor și a izolației respective, așa cum este reprezentat în fig. 10.33, *a*. În cazul conductoarelor dreptunghiulare, dispunerea conductoarelor în mănunchi în general rămînînd aceeași la capul de bobină ca și în crestătură, aceste dimensiuni rezultă după stabilirea izolațiilor în această parte a înfășurării (fig. 10.33, *b*). În acest scop se completează tabela de la pct. 3 din anexa VI, dimensiunile h_{mcb} și b_{mcb} rezultînd din însumarea dimensiunilor pe înălțime, respectiv pe lățime.

10.4.3. Dimensiunile bobinelor înfășurărilor tip indus de curent continuu

Principalele dimensiuni ce se stabilesc la bobinele înfășurărilor tip indus de curent continuu, așa cum este reprezentat și în fig. 10.34, sînt : deschiderea bobinei (l_y), lungimea medie a spirei (l_w) și lungimile axiale ale capetelor de bobină înspre colector (l_{fk}) și în partea opusă colectorului (l_{fj}).

Determinarea deschiderii bobinei (l_y)

În fig. 10.35 este reprezentată așezarea în crestătură pentru o bobină a unei înfășurări tip indus de curent continuu în două straturi și principalele dimensiuni ce intervin în determinarea așezării bobinei. Folosind notațiile din această figură și cunoscînd : pasul y_1 (în spate) al înfășurării, în număr de lamele la colector și y_k, pasul la colector, numărul total de crestături Z, numărul de crestături elementare u într-o crestătură și numărul K de lamele ale colectorului ($Z \cdot u = K$), relațiile de calcul sînt :

$$l_y = l_{y1} + l_{y2} \quad [\text{cm}] \tag{10.9 a}$$

unde :

$$l_{y1} = \frac{3{,}14\, R_1 y_1}{Z \cdot u} \quad \text{și} \quad l_{y2} = \frac{3{,}14\, R_2 y_1}{Z \cdot u} \quad [\text{cm}] \tag{10.9 b}$$

deci

$$l_y = \frac{3{,}14\, y_1}{Z \cdot u} (R_1 + R_2) \quad [\text{cm}]. \tag{10.9}$$

Înspre colector se poate scrie :

$$l_k = l_{k2} + l_{k2} \quad [\text{cm}] \qquad (10.9\ a')$$

și respectiv

$$l_{k1} = \frac{3{,}14\, R_1 y_k}{2K} \quad \text{și} \quad l_{k2} = \frac{3{,}14\, R_2 y_k}{2K} \quad [\text{cm}] \qquad (10.9\ b')$$

și deci :

$$l_k = \frac{3{,}14\, y_k}{K}(R_1 + R_2) \quad [\text{cm}]. \qquad (10.9')$$

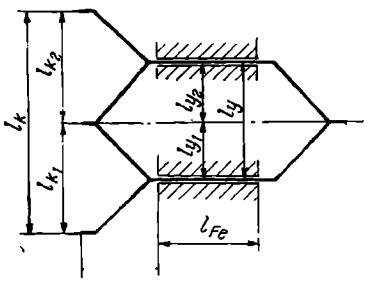


Fig. 10.34. Specificarea dimensiunilor principale ale bobinelor înfășurărilor tip indus de curent continuu.

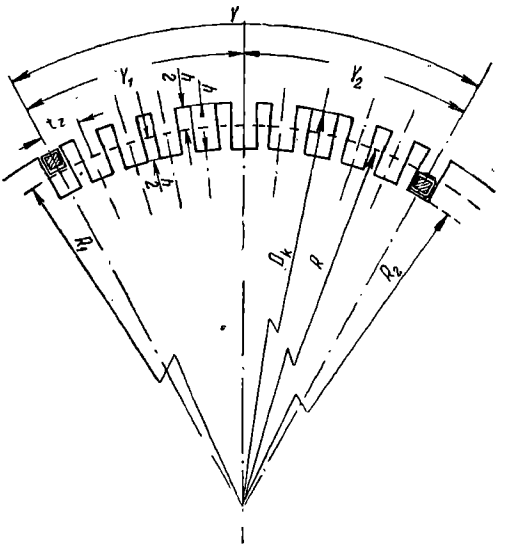


Fig. 10.35. Așezarea în crestături a unei bobine la o înfășurare tip indus de curent continuu realizată cu conductor de secțiune dreptunghiulară.

Observație. Razele R_1 și R_2 se determină după cunoașterea dimensiunilor crestăturii și a modului de așezare a laturilor de bobine în crestături, iar raza R se calculează cu relația

$$R = \frac{D_a - h_c}{2} \quad [\text{cm}] \qquad (10.10)$$

în care :

D_a este diametrul exterior al indusului, în cm ;

h_c — înălțimea crestăturii, în cm.

Determinarea lungimii medii a spirei (l_w) se face folosind notațiile din fig. 10.36 și 10.37 ; pentru lungimea spirei medii se poate scrie relația :

$$l_w = \overline{AB} + \overline{BB'} + \overline{B'A'} + \overline{A'A} = 2\overline{AB} + \overline{BB'} + \overline{A'A}$$

unde : $\overline{AB}=\overline{B'A'}$ este lungimea conductorului în crestătură, $\overline{BB'}$ și $\overline{A'A}$ sînt lungimile medii ale conductorului în cel două zone ale capului de bobină.

Lungimea conductorului în crestătură egală cu lungimea crestăturii este dată de lungimea l_{Fe} a pachetului de tole al miezului fero-

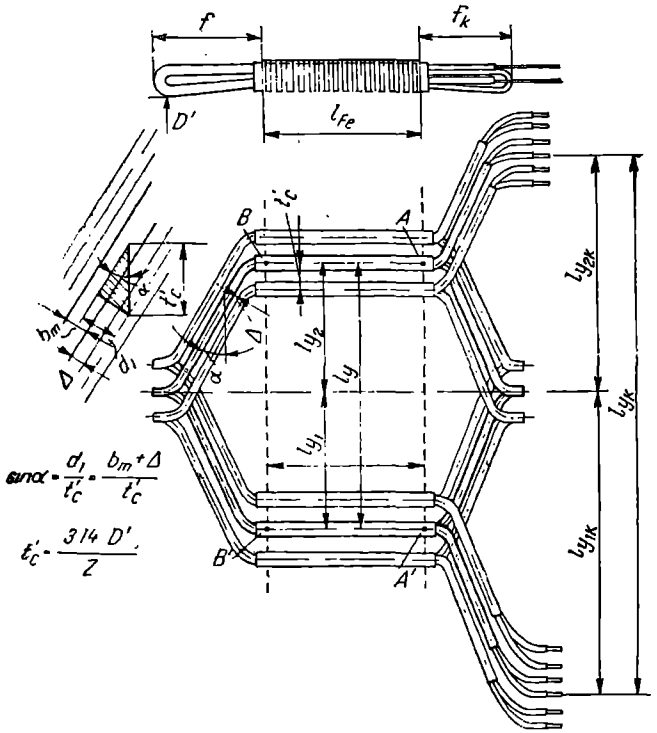


Fig. 10.36. Dimensiunile bobinei realizată cu conductor rotund la o înfășurare tip indus de curent continuu.

magnetic al rotorului. La mașinile noi această mărime se calculează, la valoarea de calcul adăogîndu-se (3 ... 6) mm pentru a ține seamă de evazarea tolelor în zonele de capăt ale pachetului rotoric.

Lungimea medie a conductorului în zona capului de bobină este notată cu l_f în partea opusă colectorului ($l_f+\overline{BB'}$) și cu l_{fk} în partea dinspre colector ($l_{fk}=\overline{A'A}$). Deci relația de calcul a lungimii medii a spirei (l_w) devine :

$$l_w=2l_{Fe}+l_f+l_{fk} \qquad (10.11)$$

Pentru determinarea lungimii l_f se folosesc relațiile de calcul de mai jos.

În cazul bobinelor realizate cu conductor rotund (v. fig. 10.38).

$$l_f = 2a_0 + 2s + c \quad [\text{cm}] \tag{10.12}$$

unde :

$$2a_0 + c = 2{,}5\, h_c \tag{10.12 a}$$

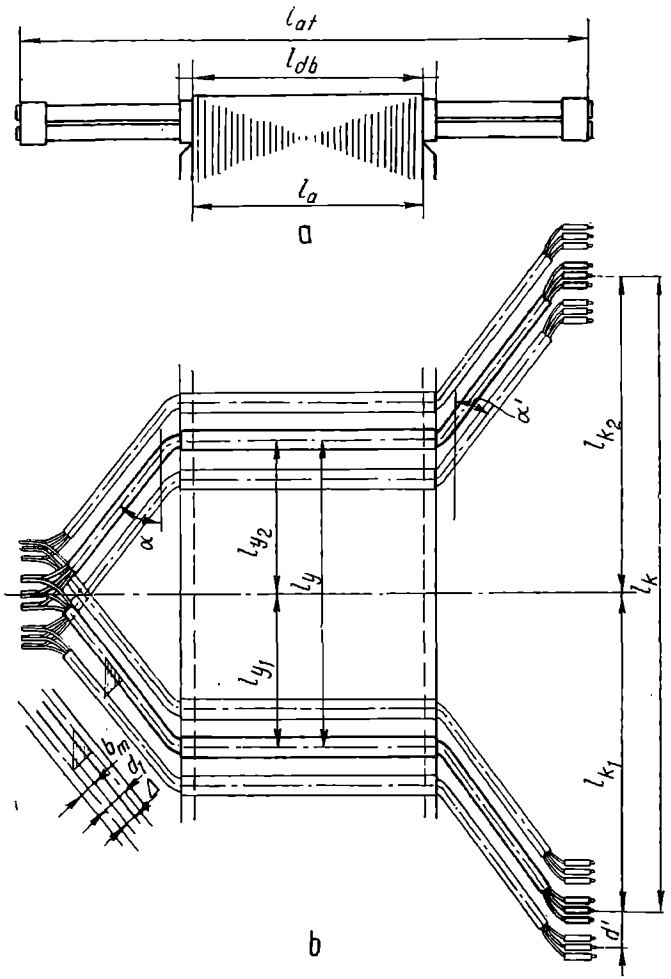


Fig. 10.37. Dimensiunile bobinelor înfășurării tip indus de curent continuu cu conductor dreptunghiular.

(h_c fiind înălțimea crestăturii)

$$2s = \frac{3{,}14\,(D_a - 2h_c)}{2p\sqrt{1-\beta^2}}\,; \qquad (10.12\ b)$$

notînd cu

$$\beta = \frac{\text{lățimea medie a crestăturii}}{\text{pasul crestăturii la baza dintelui}} = \frac{b_{c\,med}}{t_{c\,min}}$$

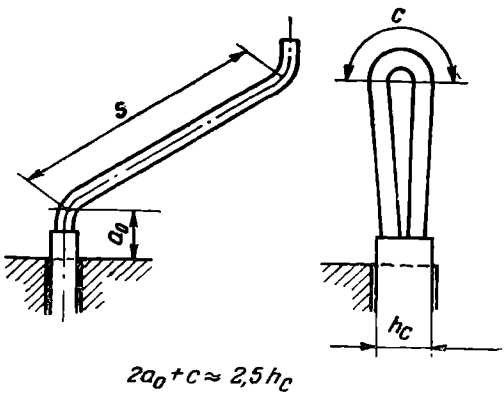


Fig. 10.38. Dimensiunile capului de bobină la înfășurările tip indus de curent continuu realizate cu conductor rotund.

unde

$$t_{c\,min} = \frac{3{,}14\,(D_a - 2h_c)}{Z}$$

rezultă :

$$l_f = \frac{3{,}14\,(D_a - 2h_c)}{2p\sqrt{1-\beta^2}} + 2{,}5\,h_c\,. \qquad (10.13)$$

Observații. 1. Unii autori, pentru determinarea lungimii medii a conductorului în zona capului de bobină recomandă relația de calcul :

$$l_f = K_M \cdot l_y + l_1 \quad [\text{cm}] \qquad (10.14)$$

unde K_M=1,25 pentru $2p$=2 și K_M=1,3 pentru $2p$=4 ;

$$l_1 = 1 \ldots 3 \text{ cm}.$$

2. La calculul bobinelor înfășurărilor mașinilor de mică putere, lungimea l_f se stabilește cu relația :

$$l_f = 1{,}884\,(D_a - h_c) \quad [\text{mm}] \qquad (10.15)$$

În cazul bobinelor realizate cu conductor dreptunghiular (v. fig. 10.39), relația de calcul este de asemenea

$$l_f = 2a_0 + 2s + c \quad [\text{cm}] \qquad (10.16)$$

unde :

a_0 se determină conform datelor din tabela 10.13 conform tensiunii nominale a înfășurării,

$$2s = \frac{3{,}14\,(D_a - 2h_c)}{2p\sqrt{1-\beta^2}}\,;$$

c — la bobinele realizate conform fig. 10.39 *a* ;

$$c = 3{,}14\left(r + \frac{h'_m}{2}\right), \qquad (10.16\ a)$$

r avînd valoarea indicată în tabela 10.14 (în funcție de înălțimea conductorului) și h'_m fiind înălțimea mănunchiului neizolat în zona buclei capului de bobină ;

Tabela 10.13

Tensiunea nominală a înfășurării V	a_0 mm
pînă la 150	8
150—400	10
400—700	12
700—1 200	16
1 200—2 000	22
2 000—3 000	32

Tabela 10.14

Înălțimea conductorului mm	r mm
pînă la 8	3
8—12	4
12—15	5
peste 15	6

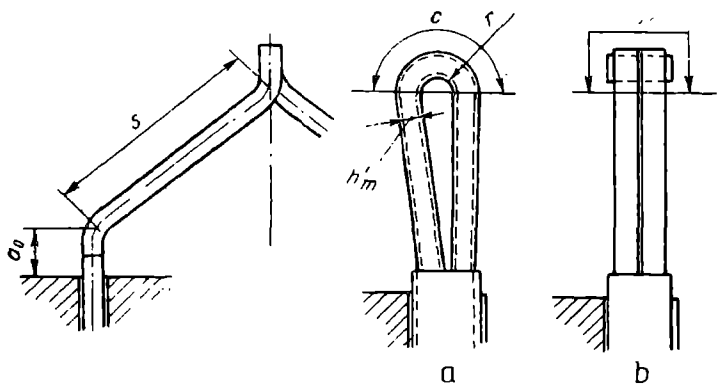


Fig. 10.39. Dimensiunile capului de bobină la înfășurările tip indus de curent continuu realizate cu conductor dreptunghiular :

a — bobină semitare (cu mai multe spire $c = 3{,}14\left(r + \frac{h'_m}{2}\right)$;
b — cu semispire $c = (1 \ldots 3)$ cm.

— la bobinele realizate conform fig. 10.39 *b* din bare (semispire) în funcție de mărimea mufei se stabilește :

$$c = 1 \ldots 3 \text{ cm}. \qquad (10.16\ b)$$

Observație: Pentru determinarea lungimii s din relația de calcul de mai sus, unii autori recomandă relația :

$$2s = K_s \cdot l_y \tag{10.17}$$

unde K_s este indicat în tabela 10.15 în funcție de mărimea raportului

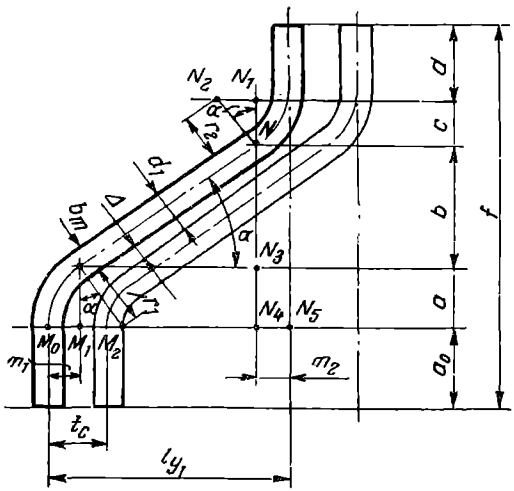


Fig. 10.40. Specificarea dimensiunilor capului de bobină la înfășurările tip indus de curent continuu.

$$\frac{d_1}{t'_c} = \frac{b_m + (0{,}15 \ldots 0{,}20)\,\Delta}{\frac{3{,}14}{Z}(D_a - 1{,}5\,h_c)} = \sin\alpha.$$

Determinarea lungimii axiale a capului de bobină f, respectiv f_k. Cu notațiile din figurile 10.36, 10.37 și 10.40, pentru lungimea axială de bobină relația de calcul este

$$l_f = a_0 + a + b + c + d. \tag{10.18}$$

Lungimea a_0 se stabilește în funcție de tensiunea nominală a înfășurării conform indicațiilor din tabela 10.13.

Tabela 10.15

$\frac{d}{t'_c}$	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
K_s	1,03	1,05	1,07	1,09	1,12	1,15	1,20	1,26

Pentru porțiunea curbă a capului de bobină, relațiile de calcul pentru fiecare din cele patru cote reprezentate în fig. 10.40 sînt următoarele :

— pentru lungimea a :

$$a = \overline{N_4 N_3} = \left(r_1 + \frac{b_m}{2}\right)\cos\alpha \tag{10.18 a}$$

r_1 fiind raza de curbură la trecere din porțiunea dreaptă a bobinei în zona capului de bobină ;

b_m fiind lățimea mănunchiului bobinei, iar

$$\sin\alpha = \frac{b_m + \Delta}{t'_c} = \frac{d_1}{t'_c},$$

deci

$$\cos\alpha = \frac{\sqrt{t'^2_c - d_1^2}}{t'_c} \qquad (10.18.\ b)$$

— pentru lungimea b :

$$b = \bar{N}_3\bar{N} = \bar{M}_1\bar{N}_4 \ \text{tg}\ \alpha = (\bar{M}_0\bar{N}_5 - \bar{M}_0\bar{M}_1 - \bar{N}_4\bar{N}_5)\ \text{tg}\ \alpha =$$
$$= (l_{y1} - m_1 - m_2)\ \text{tg}\ \alpha$$

și cum

$$m_1 = r_1 + \frac{b_m}{2} - \left(r_1 + \frac{b_m}{2}\right)\sin\alpha = \left(r_1 + \frac{b_m}{2}\right)(1 - \sin\alpha)$$

$$\text{și}\ m_2 = \left(r_2 + \frac{b_m}{2}\right)(1 - \sin\alpha)$$

rezultă

$$b = [l_{y1} - (r_1 + r_2 + b_m)\ (1 - \sin\alpha)]\ \text{tg}\ \alpha \qquad (10.18\ c)$$

— pentru lungimea c :

$$c = \overline{NN_1} = \overline{NN_2} \cdot \cos\alpha = \left(r_2 + \frac{b_m}{2}\right)\cos\alpha \qquad (10.18\ d)$$

— pentru lungimea d :

— la bobinele de tipul reprezentat în fig. 10.36

$$d = r + b_m$$

r fiind dat în tabela 10.14 în funcție de înălțimea conductorului.

— la bobinele de tipul reprezentat în fig. 10.37

$d = (1 \ldots 3)$ cm, în funcție de mărimea barelor și a mufelor de legătură.

Distanțele între capetele de bobină în zona frontală și ieșirile spre colector. Înfășurările de tip indus de curent continuu sînt caracterizate prin aceea că atît în zona capului de bobină opus colectorului, cît și înspre colector, capetele bobinelor și respectiv ieșirile bobinelor sînt distribuite uniform pe suprafața cilindrică a rotorului. Ținînd seama de numărul de laturi de bobină de ducere sau întoarcere situate într-o crestătură (numărul de crestături elementare, u, într-o

crestătură) și cu datele folosite și pentru restul calculului dimensiunilor, rezultă :

— între părțile frontale ale capetelor de bobină(fig. 10.36) :

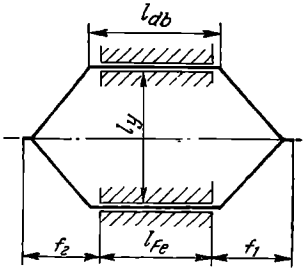


Fig. 10.41. Specificarea principalelor dimensiuni ale unei bobine de înfășurare de curent alternativ.

$$\frac{3{,}14\,(D_a - h_c)}{Z};$$

— între ieșirile la colector, pe același strat :

$$\frac{3{,}14\,D'_k}{K}.$$

D'_k fiind diametrului colectorului la stegulețe.

10.4.4. Dimensiunile bobinelor înfășurărilor de curent alternativ

La bobinele înfășurărilor de curent alternativ se determină următoarele dimensiuni principale : lungimea porțiunii drepte a bobinei l_{db}, lungimea axială a capului de bobină f și lungimea medie a spirei l_w, așa cum sînt notate în fig. 10.41.

Lungimea porțiunii drepte a bobinei, l_{db}

Folosind notațiile din fig. 10.42, *a* și *b* și ținînd seama de modul de așezare a bobinelor în statorul sau în rotorul mașinii, porțiunea dreaptă l_{db} a bobinei se determină astfel :

— la înfășurările de curent alternativ din stator (fig. 10.42, *a*) porțiunea dreaptă a bobinei se calculează cu relația :

$$l_{db} = l_{Fe} + 2(t+j) \quad [\text{mm}], \tag{10.19}$$

Tabela 10.16

Tensiunea nominală a înfășurării V	$(t+j)$ mm
pînă la 500	20—25
3 000—3 300	35—40
6 000—6 300	50—55

valorile uzuale pentru depășirea în linie dreaptă $(t+j)$ a crestăturii fiind date în tabela 10.16.

— la înfășurările de curent alternativ din rotor (fig. 10.42, *b*) se procedează ca și în cazul înfășurărilor tip indus de curent continuu, respectiv :

$$l_{db} = l_{Fe} + 2t \quad [\text{mm}]. \tag{10.20}$$

La stabilirea lungimii pachetului de tole l_{Fe}, cînd aceasta se face prin măsurare directă (în cazul mașinilor ce se rebobinează), trebuie ținut seama de evazarea părților marginale laterale ale pachetului, care poate fi de 3 ... 6 mm.

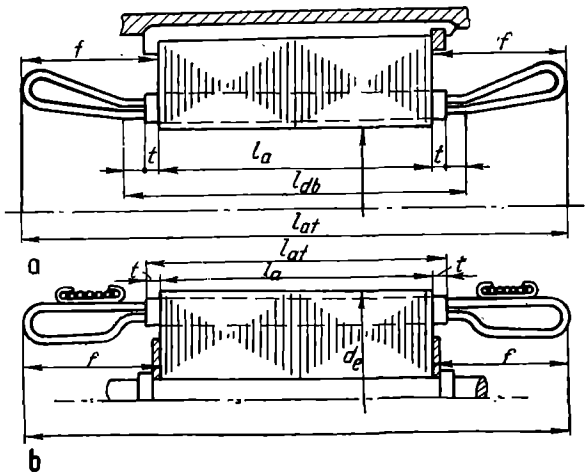


Fig. 10.42. Stabilirea dimensiunilor părții drepte a bobinelor:

a — la înfășurările de curent alternativ din stator; *b* — la înfășurările de curent alternativ din rotor.

Dacă l_{Fe} se determină în dreptul jugului (fig. 10.42), se folosește relația :

$$l_{Fe} = (l_{Fe})_{jug} + 2 \times (3 \ldots 6 \text{ mm}) \quad [\text{mm}]. \tag{10.21}$$

Deschiderea bobinei l_y

În general, deschiderea l_y (în fig. 10.43 notată cu Y) a bobinei se stabilește pornind de la pasul y al bobinei, exprimat în număr de crestături (v. cap. 5), ținînd seama de poziția în stator sau în rotor a înfășurării și anume :

— Pentru înfășurări așezate în stator (v. fig. 10.43, *a*) :

$$l_y = \frac{3{,}14\,(2R_i + h_c)}{Z} y = \frac{3{,}14\,(D_i + h_c)}{Z} y \quad [\text{mm}]. \tag{10.22}$$

— Pentru înfășurări așezate în rotor (v. fig. 10.43, *b*)

$$l_y = \frac{3{,}14\,(2R_a - h_c)}{Z} y = \frac{3{,}14\,(D_a - h_c)}{Z} y \quad [\text{mm}] \tag{10.23}$$

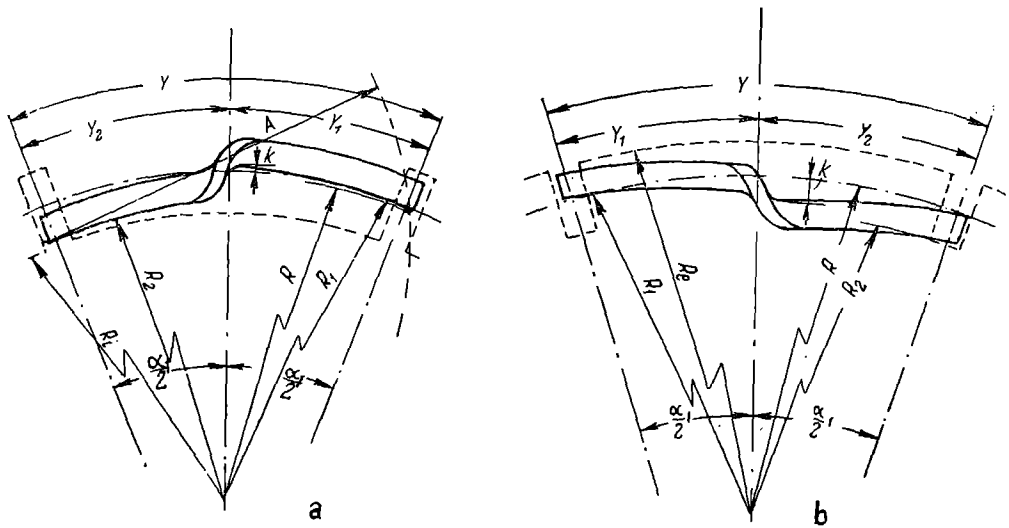


Fig. 10.43. Așezarea în crestături a bobinelor înfășurărilor de curent alternativ din stator (*a*) și din rotor (*b*).

În aceste relații de calcul D_i este diametrul interior al pachetului de tole statoric, D_a este diametrul exterior al pachetului de tole rotoric, h_c este înălțimea crestăturii iar Z este numărul total de crestături.

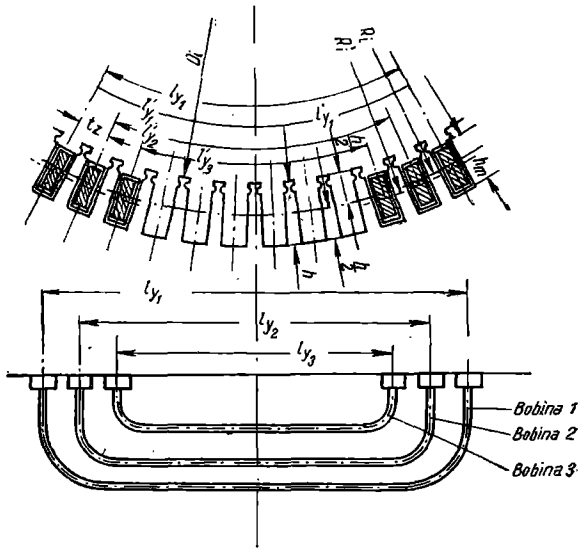


Fig. 10.44. Deschiderea bobinelor la o înfășurare într-un strat, cu bobine concentrice, $q=3$ crestături pe pol și fază.

Pentru diferitele tipuri constructive de bobine se calculează deschiderea acestora astfel :

— În cazul înfășurărilor de curent alternativ cu bobine concentrice, sau grupe de bobine concentrice, dispuse într-un strat, de tipul celor reprezentate în fig. 10.44, ținîndu-se seama de faptul că :

$y=m\cdot q$ (m=numărul de faze — în trifazat $m=3$, iar q este numărul de crestături pe pol și fază)

iar pentru deschiderea bobinei rezultă relația :

$$l_y = 3{,}14\,\frac{D_i+h_c}{Z}\cdot mq \quad [\text{mm}], \tag{10.24}$$

sau înlocuind $\frac{D_i+h_c}{2}$ cu R_i' conform reprezentării din fig. 10.44 se obține :

$$l_y = 6{,}28\,mq\,\frac{R_i'}{Z} \quad [\text{mm}]. \tag{10.24 a}$$

Dacă q este un număr impar, de ex. : $q=3$ (v. fig. 10.44), rezultă pentru fiecare din bobinele grupei deschiderile :

bobina 1 : $l_{y1}=6{,}28\ (mq+2)\ \frac{R'_i}{Z}$ $\left(\text{în trifazat : } l_{y1}=69{,}08\ \frac{R'_i}{Z}\right)$ (mm)

bobina 2 : $l_{y2}=6{,}28\ mq\ \frac{R'_i}{Z}$ $\left(\text{în trifazat : } l_{y2}=56{,}52\ \frac{R'_i}{Z}\right)$ (mm)

bobina 3 : $l_{y3}=6{,}28\ (mq-2)\ \frac{R'_i}{Z}$ $\left(\text{în trifazat : } l_{y3}=44\ \frac{R'_i}{Z}\right)$ (mm)

Cînd q este un număr par, de exemplu $q=4$

— la bobina 1

$l_{y1}=6{,}28\ (mq+3)\ \frac{R'_i}{Z}$ $\left(\text{în trifazat : } l_{y1}=94{,}2\ \frac{R'_i}{Z}\right)$ (mm)

— la bobina 2

$l_{y2}=6{,}28\ (mq+1)\ \frac{R'_i}{Z}$ $\left(\text{în trifazat : } l_{y2}=81{,}64\ \frac{R'_i}{Z}\right)$ (mm)

— la bobina 3

$l_{y3}=6{,}28\ (mq-1)\ \frac{R'_i}{Z}$ $\left(\text{în trifazat : } l_{y3}=69{,}1\ \frac{R'_i}{Z}\right)$ (mm)

— la bobina 4

$l_{y4}=6{,}28\ (mq-3)\ \frac{R'_i}{Z}$ $\left(\text{în trifazat : } l_{y4}=56{,}52\ \frac{R'_i}{Z}\right)$ (mm)

În cazul înfășurărilor de curent alternativ într-un strat, cu grupe de bobine egale, așa cum este exemplul reprezentat în fig. 10.45, bobinele au aceeași deschidere l_y care se calculează cu relația :

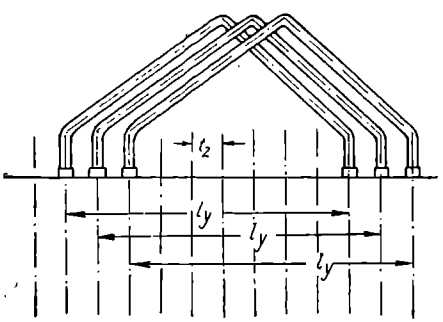


Fig. 10.45. Deschiderea bobinelor într-un singur strat, cu grupe de bobine egale, $q=3$ crestături pe pol și fază.

$$l_y=6{,}28\ mq\ \frac{R'_i}{Z}\ \text{[mm]};\quad (y=mq). \tag{10.25}$$

În cazul înfășurărilor de curent alternativ în două straturi se procedează ca și în cazul înfășurărilor tip indus de curent continuu și folosind notațiile din fig. 10.43, *a* și *b* rezultă :

$$l_y=3{,}14\ mq\ \frac{(R_1+R_2)}{Z} \tag{10.26}$$

la stabilirea valorilor pentru R_1 și R_2 ținîndu-se seamă dacă înfășurarea se introduce în crestăturile unui pachet de tole din stator sau din rotor.

Dimensiunile capului de bobină

În cazul înfășurărilor de curent alternativ, spre deosebire de înfășurările de tip indus de curent continuu, diversitatea mare de forme constructive conduce la moduri diferite de determinare a dimensiunilor în zona capului de bobină.

— *La înfășurările într-un singur strat,* din statoarele mașinilor de curent alternativ, capetele de bobină fiind dispuse în două sau trei etaje, așa cum este reprezentat în fig. 10.46, *a* și *b,* se urmărește asigurarea distanțelor minime de izolare.

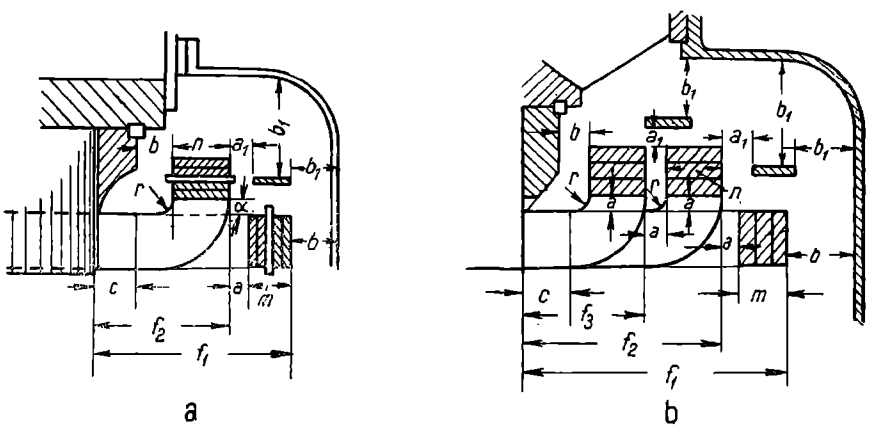


Fig. 10.46. Dimensiunile capetelor de bobină ale înfășurărilor într-un singur strat ; distanțele izolante minime :
a — cu capul de bobină dispus în două etaje; *b* — cu capul de bobină dispus în trei etaje.

Folosind notațiile din fig. 10.46, *a* și *b, lungimile axiale ale capetelor de bobină* se stabilesc cu ajutorul relațiilor :

— pentru înfășurările cu capul de bobină dispus în două etaje (fig. 10.46, *a*)

$$f_1 = m + n + a + b + c \qquad (10.27\ a)$$

$$f_2 = n + b + c \qquad (10.27\ b)$$

— pentru înfășurările cu capul de bobină dispus în trei etaje (fig. 10.46, *b*) :

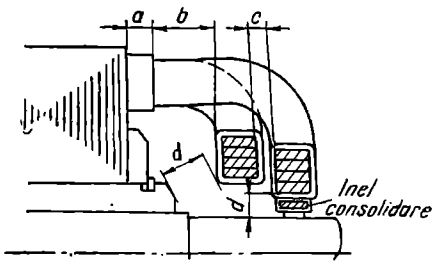


Fig. 10.47. Dispunerea în două etaje a capului de bobine la o înfășurare într-un strat cu bobine concentrice, la rotoarele motoarelor asincrone cu inele de contact ; distanțele de izolare.

$$f_1 = m + 2n + 2a + b + c \quad (10.28\ a)$$

$$f_2 = 2n + a + b + c \quad (10.28\ b)$$

$$f_3 = n + b + c \quad (10.28\ c)$$

unde distanțele *a*, *b*, *c* și cotele a_1, b_1 și *r* din figură se aleg conform indicațiilor din tabela 10.17.

La înfășurările de curent alternativ trifazate sau bifazate, dintr-un strat cu bobine concentrice, cu capul de bobină dispus în două etaje, utilizate în rotoarele motoarelor asincrone cu inele de contact, a căror formă constructivă este similară aceleia reprezentate în fig. 10.47, distanțele izolante *a*, *b*, *c* și *d* se stabilesc conform indicațiilor din tabela 10.18.

Tabela 10.17

Tensiunea nominală a înfășurării V	Distanțele de izolație minime, în zona capului de bobină (fig. 10.46) mm					
	a	*b*	*c*	a_1	b_1	*r*
pînă la 500	15	15	15	5	5	10
3 000—3 150	20	20	45	5	5	10—20
6 000—6 300	30	40	60	10	10	20

Tabela 10.18

Tensiunea nominală a înfășurării V	Valorile minime pentru distanțele (fig. 10. 47) mm			
	a	*b*	*c*	*d*
pînă la 120	10	8	6	6
121—220	12	10	8	6
221—280	15	12	10	8
281—800	20	15	12	10

Lungimea conductorului în zona capului de bobină pentru fiecare dintre etaje se calculează cu relația

$$l_{cb} = 2f + l_y,$$

unde f este lungimea axială a capului de bobină pe etajul considerat, iar l_y este deschiderea bobinei.

La înfășurările în două straturi se procedează diferit după așezarea în stator sau în rotor a înfășurării, precum și după tipul bobinei folosite.

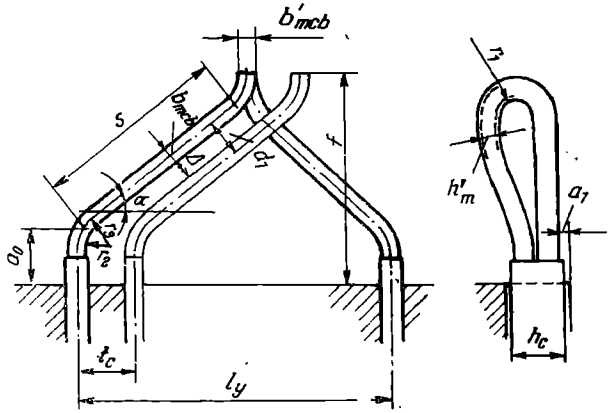


Fig. 10.48. Dimensiunile capului de bobină la înfășurările de curent alternativ realizate cu conductor rotund și situate în stator.

În cazul *bobinelor tari (rigide) situate în stator,* folosind notațiile din fig. 10.48 și fig. 10.43, *a,* dimensiunile capului bobinei se calculează astfel :

— distanța între mănunchiuri vecine Δ conform cu indicațiile date în tabela 10.19.

Tabela 10.19

Tensiunea nominală a înfășurării V	Valoarea în (mm) a cotelor, (fig. 10.48)		
	Δ	a_1	a_0
până la 500	4,0—4,5	6 ... 12	20—25
3 000; 3 300	4,5—5,0	14	35—40
6 000; 6 600	5,0—5,5	16	40—66

— distanța între axele a două mănunchiuri vecine :

$$d_1 = b_{mcb} + \Delta \quad \text{(mm)} \tag{10.29}$$

La bobinele cu izolație continuă : $b_{mcb} = b_c$ (lățimea crestăturii).

— unghiul α de așezare a mănunchiului la capul de bobină în raport cu planul tolelor.

$$\sin \alpha = \frac{d_1}{3{,}14\, D_i} Z$$

— lungimea conductorului în zona capului de bobină :

$$l_{cb} = K_1 \left[(l_y \cdot \gamma) - \left(r_1 + \frac{h_1}{4} \right) \right] + 3{,}14 \left(r_2 + \frac{h_1}{2} \right) + K_2 \cdot r_3 + 2\Delta \text{ (mm)} \quad (10.30)$$

unde

K_1 și K_2 sînt doi coeficienți dați în tabela 10.20. ;

r_1 este raza în porțiunea frontală a capului de bobină, determinată pentru conductor, valoarea minimă pentru înaltă tensiune fiind pentru 3 000 V $r_1 = 12$ mm și pentru 6 000 V $r_1 = 15$ mm ;

r_2 — raza de racordare a capului de bobină pentru a forma unghiul de așezare a mănunchiului și care se alege :

r_2 = 25 mm pentru bobine ce nu sînt izolate cu micabandă ;

r_2 = 50 mm pentru bobine izolate cu micabandă ;

$r_3 = r_2 + \frac{b}{2}$ (b este lățimea conductorului) ;

Δ — conform tabelei 10.19

Tabela 10.20

α°	K_1	K_2	K_3	α°	K_1	K_2	K_3
30	1,15	0,94	0,58	43	1,37	0,77	0,44
31	1,17	0,93	0,47	44	1,39	0,75	0,43
32	1,18	0,92	0,56	45	1,41	0,74	0,41
33	1,19	0,91	0,54	46	1,44	0,73	0,40
34	1,21	0,90	0,53	47	1,47	0,71	0,39
35	1,22	0,89	0,52	48	1,50	0,70	0,38
36	1,24	0,87	0,51	49	1,52	0,68	0,37
37	1,25	0,85	0,50	50	1,56	0,67	0,36
38	1,27	0,84	0,49	51	1,59	0,65	0,35
39	1,29	0,83	0,48	52	1,62	0,64	0,34
40	1,31	0,82	0,47	53	1,66	0,62	0,33
41	1,33	0,80	0,46	54	1,70	0,61	0,32
42	1,35	0,79	0,45	55	1,74	0,59	0,32

— coeficientul γ calculat pentru înfășurările bipolare cu relația :

$$\gamma = \frac{Z \sin \frac{\pi \cdot y}{Z}}{\pi y} ; \quad (10.30.\text{a})$$

(y — pasul bobinei în crestături) iar la înfășurări cu $2p > 2$: $\gamma = 1$

— lungimea axială a capului de bobină, f :

$$f = \frac{l_y}{2}\gamma \cdot \operatorname{tg}\alpha + K_3 \cdot r_3 + \Delta + \frac{h_1}{2} \quad [\text{mm}] \tag{10.31}$$

K_3 fiind dat în tabela 10.20.

În cazul *bobinelor din bare* situate în rotor, conform cu notațiile din fig. 10.49 și fig. 10.43, *b* se stabilesc dimensiunile în zona capului de bobină astfel :

— distanța Δ între bare, în mm se alege $\Delta = 1$ mm pentru bare avînd lățime pînă la 4 mm și $\Delta = 2$ mm pentru bobine al căror conductor (bară) este mai lat ca 4 mm.

— distanța d_1 între axele a două bare vecine (mm) :

$$d_1 = b_{mcb} + \Delta \tag{10.32}$$

— unghiul de așezare α al barelor în zona capului de bobină :

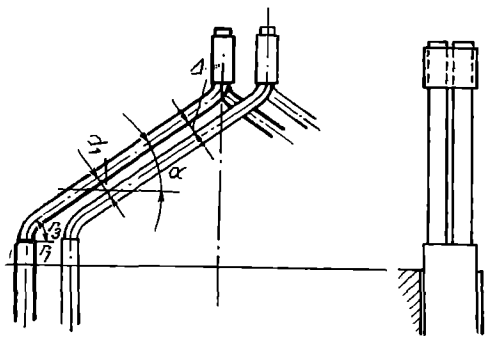


Fig. 10.49. Dimensiunile capului de bobină de înfășurare de curent alternativ, realizată cu conductor dreptunghiular și așezată în rotor.

$$\sin\alpha = \frac{d_1}{3{,}14\,(D_a - 2h_c)}Z = \frac{d_1}{t_c} \tag{10.33}$$

h_c fiind înălțimea crestăturii rotorice, iar t_c — pasul crestăturii :

$$t_c = 6{,}28\,\frac{R_1}{Z} = \frac{3{,}14\,(D_a - 2h_c)}{Z}$$

— lungimea medie a conductorului, în mm, în zona capului de bobină :

$$l_{cb} = \frac{l_y}{2}K_1 + A + C + K_2 r_3 + 6 \tag{10.34}$$

unde

K_1, K_2 sînt indicați în tabela 10.20,

A — se alege între 15 și 25 mm,

C — se stabilește în funcție de lățimea conductorului (barei) conform indicațiilor din tabela 10.21.

Tabela 10.21

Lățimea barei mm	C mm
1,7—3,8	16
3,9—5,5	20
5,6—9,0	25

— lungimea axială a capului de bobină, f, în mm.

$$l_f = \frac{l_y}{2} \operatorname{tg} \alpha + 2K_3 r_3 + A + C + 6 \qquad (10.35)$$

K_3 fiind dat în tabela 10.20.

Lungimea axială a capului de bobină, mai poate fi calculată și cu relația :

$$f = \left[r_2 \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right) + \frac{l_y}{2} \right] \operatorname{tg} a + b'_{mcb} \qquad (10.35.\ a)$$

unde b'_{mcb} este grosimea mănunchiului în zona buclei capului de bobină, iar

r_2 — raza de curbură la porțiunea de formare a unghiului α și se stabilește astfel :

$$r_2 = r + \frac{b_{mcb}}{2}$$

unde r = 25 mm la bobinele moi sau semitari, și
r = 50 mm la bobinele tari.

Săgeata k cu care capul de bobină se depărtează de la nivelul porțiunii drepte (din crestătură) a bobinei, se determină cu :

$$k = (f - h - r_1) \operatorname{tg} \beta \qquad (10.36)$$

unde β se alege între 6° și 8° iar r_1 între 10 și 15 mm.

La bobinele tari este necesar să se determine suficient de exact unghiul de înclinare a mănunchiului pentru a corespunde poziției în spațiu a crestăturilor și pentru a se putea prevedea operația corespunzătoare cu ajutorul dispozitivului de întindere.

În acest sens, se calculează raza A (v. fig. 10.43, *a*) cu ajutorul relației

$$A = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1 R_2 \cos(\alpha_1 - 2\gamma_1)} \qquad (10.37)$$

în care α_1 este unghiul la centru corespunzător deschiderii bobinei :

$$\alpha_1 = \frac{360\, y}{Z}$$

(y este pasul bobinei, în număr de crestături),

γ_1 — definit prin $\sin \gamma_1 = \dfrac{(b_{mcb})\ \text{neizolat}}{2R_2}$.

Pentru unele mașini având diametrul cuprins între 350 și 750 mm, în tabela 10.22 sînt date valorile razei A precum și pentru dimensiunile crestăturii.

Tabela 10.22

D	R_2	R_1	$2p$	Z	Dimensiunile crestăturii	y	α_1	γ	$\cos(\alpha_1-2\gamma)$	A
350	179	201	4	42	$\frac{12,5}{42,8;\ 43,8}$	9	77	1°20′	0,27	230
390	198	220	6	54	$\frac{11,4}{41,8;\ 44,8}$	8	53	1°	0,629	181
420	214	236	4	48	$\frac{13,6}{44,8;\ 48,8}$	10	75	1°10′	0,281	271
425	214	236	4	60	$\frac{13,6}{44,8;\ 48,8}$	13	78	1°10′	0,247	276
460	234	257	6	72	$\frac{10,7}{45,6;\ 49,6}$	10	50	40°	0,66	203
475	241	265	4	60	$\frac{12,3}{46,5;\ 50,5}$	12	72	1°	0,342	271
475	241	270	4	72	$\frac{12,3}{46,5;\ 53,5}$	13	65	1°	0,454	265
475	241	270	4	72	$\frac{11}{56,5;\ 60,5}$	14	70	50°	0,370	186
495	251	271	8	72	$\frac{12,3}{40,6;\ 44,6}$	7	35	50°	0,835	151
525	266	288	6	90	$\frac{9,2}{43,5;\ 47}$	13	52	30′	0,629	239
545	276	308	4	60	$\frac{14,2}{64;\ 68}$	11	66	1°	0,438	316
545	276	308	4	60	$\frac{13,6}{52,5;\ 56,5}$	12	72	50′	0,386	337
545	276	301	8	96	$\frac{8,5}{49,5;\ 53}$	10	37	30′	0,8	184
545	276	301	8	96	$\frac{8,5}{43,5;\ 53}$	11	41	30′	0,766	199
565	286	309	10	90	$\frac{8,5}{44,5;\ 48}$	7	28	40′	0,892	144
565	286	309	10	9	$\frac{8,5}{44,5;\ 48}$	8	32	40′	0,850	168

Tabela 10.22 (continuare)

D	R_2	R_1	$2p$	Z	Dimensiunile crestăturii	y	α_1	γ	$\cos(\alpha_1-2\gamma)$	A
605	306	335	6	72	$\frac{13,2}{58;\ 62}$	10	50	50′	0,66	266
605	306	332	6	72	$\frac{11,8}{51;\ 55}$	9	45	40′	0,727	236
605	306	335	6	72	$\frac{13,2}{58;\ 62}$	11	57	50′	0,597	289
640	234	356	4	60	$\frac{16,5}{63,5;\ 68}$	12	72	1°	0,342	391
640	234	348	8	72	$\frac{12,6}{47;\ 51}$	7	35	40′	0,832	199
640	341	357	8	96	$\frac{11,5}{55,5;\ 59,5}$	10	37	40′	0,81	200
640	324	352	10	75	$\frac{12,6}{47;\ 51}$	6	29	40′	0,884	165
640	324	352	10	90	$\frac{11,9}{62;\ 66}$	7	28	40′	0,892	152
705	356	386	6	72	$\frac{13,6}{59,5;\ 63,5}$	10	50	40′	0,77	306
750	379	408	8	84	$\frac{13,6}{58;\ 63}$	8	34	40′	0,840	224
750	379	408	8	84	$\frac{14,2}{56,7;\ 62,7}$	9	39	40′	0,790	256
750	379	412	10	90	$\frac{12,8}{66,7;\ 70,7}$	7	28	40′	0,890	186
750	379	412	10	90	$\frac{12,8}{66,7;\ 70,7}$	9	36	40′	0,82	239

În cazul *bobinelor moi, în două straturi,* principalele dimensiuni în zona capului de bobină sînt următoarele :

— lungimea medie a conductorului, în mm, în zona capului de bobină :

$$l_{cb}=K\cdot l_y+20 \quad [\text{mm}]. \tag{10.38}$$

K fiind dat în tabela 10.23.

Dacă se urmărește asigurarea unei mai bune răciri prin circulația aerului prin capul de bobină, valoarea determinată pentru l_{cb} este necesar a fi mărită cu 10 ... 40 mm.

Lungimea axială, în mm, a capului de bobină se determină cu relația

$$f = \frac{1}{2}\sqrt{l_{cb}^2 - l_y^2}. \qquad (10.39)$$

Tabela 10.23

Numărul de perechi de poli	Valoarea coeficientului K	
	Cap bobină parțial neizolat	Cap bobină izolat
2	1,2	1,45
4	1,3	1,55
6	1,4	1,75
8 și peste	1,5	1,90

10.5. EXECUTAREA BOBINELOR

Executarea bobinelor formează una din principalele etape premergătoare bobinării miezului feromagnetic. Desfășurarea operațiilor necesare acestui scop depinde de tipul bobinei, construcția acesteia și felul conductorului de bobinaj și de izolația stabilită.

Principalele faze tehnologice în procesul de confecționare a bobinelor sînt :

— confecționarea bobinei propriu-zise ;
— confecționarea izolației și izolarea bobinei ;
— impregnarea bobinei ;
— controlul calitativ și încercarea bobinelor.

10.5.1. Confecționarea bobinelor ; șabloane și dispozitive

Pentru confecționarea bobinelor se presupun cunoscute sau determinate tipul constructiv al bobinei, numărul de spire, dimensiunile bobinei și conductorul de bobinaj.

Exceptînd înfășurările ce se execută direct pe miezul feromagnetic (prin coasere, prin înfiruire sau cu ajutorul mașinilor de bobinat), toate celelalte înfășurări se realizează cu bobine ce se confecționează separat pe dispozitive denumite șabloane.

Pentru confecționarea bobinelor moi, semitari și tari se folosesc dispozitivele denumite *șabloane*, care sînt de tipuri sau de construcții diferite. Din punct de vedere constructiv se deosebesc șabloane care

permit realizarea completă a bobinei (pentru bobinele moi și unele șabloane pentru bobine semitari) și șabloane pentru operații distincte prin executarea cărora se realizează confecționarea bobinei (pentru bobine semitari, iar pentru bobine tari, semispire).

În practica bobinajului mașinile electrice, în funcție de numărul de bobine ce trebuie realizate se recurge la șabloane de dimensiuni fixe (pentru confecționarea unui mare număr de bobine) și șabloane reglabile (pentru confecționarea de bobine de dimensiuni diferite sau număr mic de bobine de dimensiuni diferite, în special în ateliere de reparații).

10.5.2. Confecționarea bobinelor moi; șabloane de bobinaj

Construcția șabloanelor pentru bobine moi; tipuri de șabloane. Modul de utilizare

Șabloanele pentru confecționarea bobinelor moi (fig. 10.50) se compun dintr-un miez *1* cu pereți drepți sau înclinați și doi pereți laterali *2* fixați cu un șurub *3*.

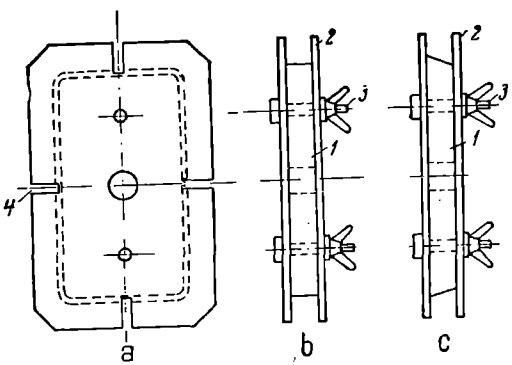


Fig. 10.50. Șablon pentru executarea bobinelor moi dreptunghiulare:
1 — miezul șablonului; *2* — perete lateral; *3* — șuruburi cu piulițe fluture pentru asamblarea șablonului; *4* — canale.

Miezurile cu pereți înclinați se folosesc pentru confecționarea bobinelor cu număr mare de spire sau ale înfășurărilor cu număr mic de poli (2 sau 4 poli).

Pereții laterali sînt prevăzuți cu cel puțin patru canale pentru introducerea benzii de bumbac sau a sforii de cînepă cu ajutorul cărora bobina se consolidează înainte de scoaterea ei de pe șablon.

La confecționarea bobinelor, se fixează șablonul pe dispozitivul sau pe mașina de bobinat, se introduce capătul conductorului în una dintre crestăturile pereților laterali și se pune în mișcare șablonul.

Pentru așezarea corectă a spirelor sîrma este întinsă înainte de a se așeza pe șablon cu ajutorul unui dispozitiv simplu aplicat pe con-

ductorul de bobinaj prin intermediul unui manşon protector din preşpan, sau cu ajutorul unui dispozitiv cu role, reprezentat în fig. 10.51.

Pentru confecţionarea grupelor de bobine şablonul este prevăzut cu mai multe secţiuni (mai multe miezuri despărţite prin pereţi) aşa cum sînt şabloanele reprezentate în fig. 10.52.

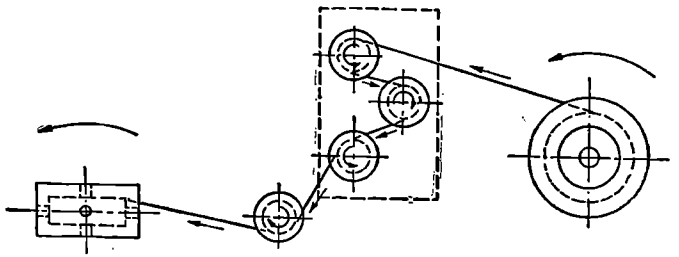


Fig. 10.51. Dispozitiv cu role pentru întinderea conductorului de bobinaj în timpul confecţionării bobinei (schemă cinematică).

Deoarece bobinele concentrice au deschideri şi lungimi diferite, miezurile şablonului au dimensiuni diferite, spre deosebire de şablonul pentru confecţionarea bobinelor de aceeaşi deschidere (v. fig. 10.52, *a* şi *b*).

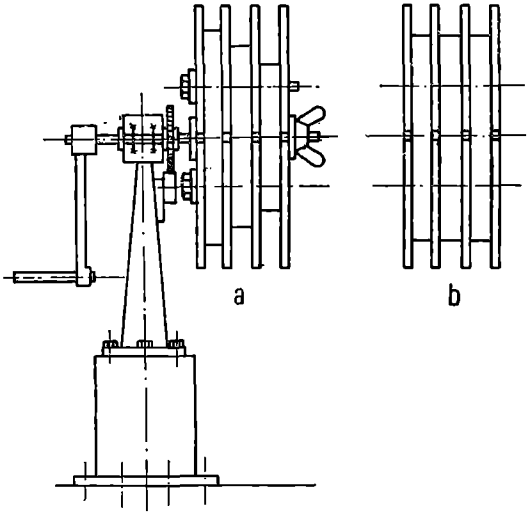
Pentru realizarea diferitelor forme de bobine moi reprezentate în fig. 10.1, miezurile şabloanelor se construiesc dreptunghiulare, trapezoidale, hexagonale sau cu capete rotunde, aşa cum este reprezentat în fig. 10.53.

Şabloanele pentru bobinele moi se execută din lemn sau din metal (pentru serii mari de bobine).

În atelierele de reparaţii, datorită varietăţii mari de tipuri de bobine ce trebuie executate în număr redus de bucăţi, se obişnuieşte să se lucreze cu şabloane ce pot fi folosite pentru mai multe dimensiuni de bobine, denumite *şabloane reglabile*. La acestea, adaptarea se face prin schimbarea (reglarea) dimensiunilor miezului, înlocuit de distanţoare care prin poziţia lor reproduc conturul miezului.

În fig. 10.54 este reprezentat un şablon reglabil pentru confecţionarea bobinelor moi ale unei grupe de bobine concentrice. Şablonul se compune din patru distanţoare *1* care se fixează prin intermediul şuruburilor *2* şi piuliţelor *3* pe traversele *4* construite sub formă de glisiere.

În fig. 10.55, *a* este reprezentat un şablon reglabil pentru confecţionarea bobinelor moi trapezoidale. Prin deplasarea distanţoarelor *1*



c

Fig. 10.52. Dispozitiv cu acționare manuală pentru confecționarea bobinelor moi și șabloane pentru grupe de bobine :

a, b — schema dispozitivului și șablonul unei grupe de bobine concentrice respectiv egale; *c* — mod de executare.

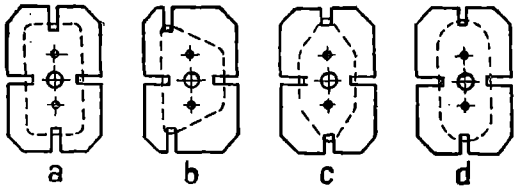


Fig. 10.53. Şabloane pentru confecţionarea bobinelor moi de tipuri constructive diferite :
a — pentru bobine dreptunghiulare; *b* — pentru bobine trapezoidale; *c* — pentru bobine hexagonale; *d* — pentru bobine cu capul rotund.

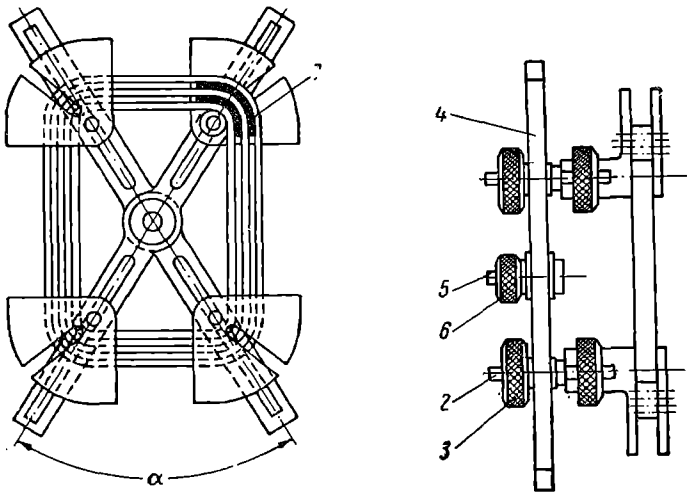


Fig. 10.54. Şablon reglabil pentru confecţionarea bobinelor moi dreptunghiulare.

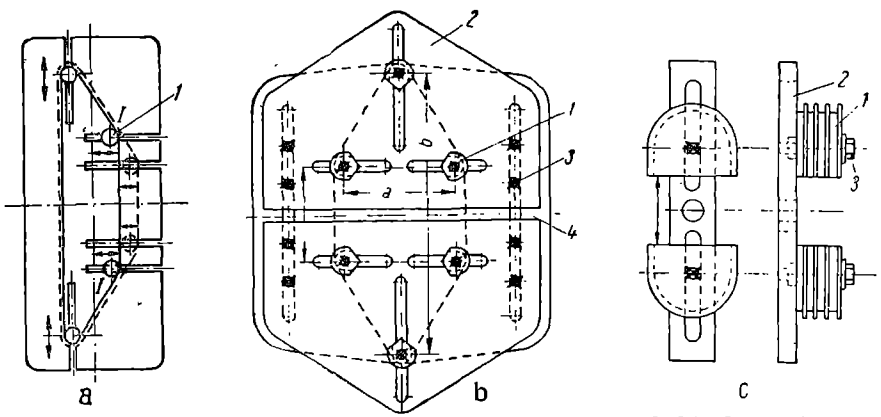


Fig. 10.55. Şabloane reglabile pentru confecţionarea bobinelor moi :
a — trapezoidale; b — hexagonale; c — cu cap de bobină rotund.

în canalele practicate în pereții laterali se obțin diferite dimensiuni de bobine. În fig. 10.55, *b* este reprezentat un șablon reglabil; pentru confecționarea bobinelor moi cu cap rotund se utilizează șabloane reglabile de tipul reprezentat în fig. 10.55, *c*.

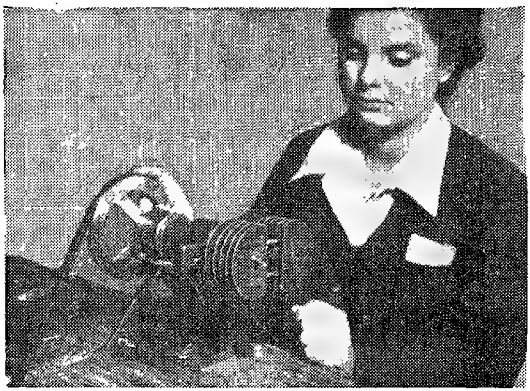


Fig. 10.56. Mașină de confecționat bobine, echipată cu șablon reglabil, pentru bobine cu cap rotund.

În fig. 10.56 este reprezentată o mașină folosită pentru confecționarea bobinelor moi cu număr relativ mare de spire.

Dimensiunile șabloanelor pentru confecționarea bobinelor moi

La confecționarea șablonului, dimensiunile miezului se stabilesc în funcție de dimensiunile bobinelor ce trebuie realizate.

Pentru stabilirea dimensiunilor Y_s și l_s ale șablonului pentru bobine dreptunghiulare (v. fig. 10.57) trebuie să fie cunoscute deschiderea l_y și lungimea axială totală a bobinei neformate.

Lățimea Y_s a miezului șablonului se ia ceva mai mare decît deschiderea l_y a bobinei.

Lungimea l_s a miezului șablonului, ținînd seamă și de notațiile din fig. 10.46 se stabilește astfel:

— În cazul înfășurărilor avînd capul de bobină așezat în două etaje (v. fig. 10.46, *a*) pentru miezurile ambelor bobine, se poate lua lungimea l_s egală cu:

$$l_s = l_a + 2f_2 + 2a; \tag{10.40}$$

raza r_s de curbură a miezului se alege în funcție de grosimea bobinei și diametrul conductorului, luîndu-se minimum $r_s = 15$ mm.

— În cazul înfășurărilor avînd capul de bobină dispus în trei etaje (v. fig. 10.46, *b*), miezul pentru bobinele *1* și *2* se execută cu aceeași lungime l_s calculată mai sus, iar pentru bobina *3*, lungimea miezului șablonului se calculează cu relația:

$$l_{s3} = l_a + 2f_3 + 2a. \tag{10.41}$$

În cazul șabloanelor pentru bobine trapezoidale cu notațiile din fig. 10.58 dimensiunile miezului șablonului se calculează astfel :

— lățimea miezului șablonului :

$$Y_s = 1{,}04\,(l_y - b_m) \tag{10.42}$$

unde :

l_y este deschiderea bobinei (în mm) și

b_m — grosimea mănunchiului ;

— lungimea maximă a miezului șablonului :

$$l_{s1} = l_a + 2l_1 \tag{10.43}$$

unde

$$l_1 = r_s + x + z. \tag{10.43 a}$$

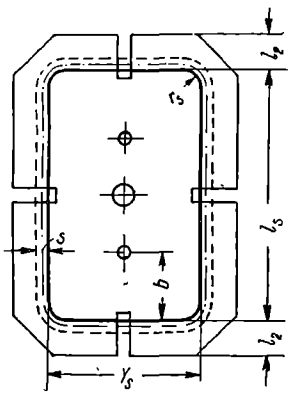


Fig. 10.57. Dimensiunile șablonului pentru bobine moi dreptunghiulare.

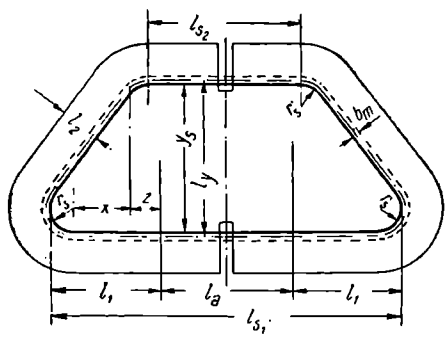


Fig. 10.58. Dimensiunile șablonului pentru confecționarea bobinelor moi trapezoidale.

În acestă relație, pentru x se iau două valori : $x=0$ și $x=0{,}1\ Y_s$. iar z se ia egal cu 15 mm.

Raza de racordare r_s se stabilește în funcție de valoarea lui z, de deschiderea șablonului Y_s și de dimensiunile bobinei. Pentru aceasta se calculează lungimea medie a conturului părții frontale a șablonului cu relația :

$$l_{fs} = l_{cb} - 30 - 1{,}57\,b_m \tag{10.43 b}$$

unde

l_{cb} este lungimea medie a conturului capului de bobină care, pentru bobinele trapezoidale, se poate calcula cu relația

$$l_{cb} = k \cdot l_y + 30 \tag{10.43 c}$$

coeficientul k depinzînd de numărul de poli ai mașinii și avînd valorile indicate în tabela 10.28.

Se calculează apoi raportul

$$k_s = \frac{l_{fs}}{Y_s} \qquad (10.43\ d)$$

și cu ajutorul acestui coeficient (k_s), din diagrama din fig. 10.59 se determină, pentru $x=0$ și $x=0{,}1\ Y_s$, raportul $\frac{r_s}{Y_s}$. Cunoscîndu-se Y_s rezultă astfel două valori pentru r_s și anume r_{s0} (pentru $x=0$) și r_{s1} (pentru $x=0{,}1\ Y_s$). Cu aceste date se calculează două valori ale lui l_1 :

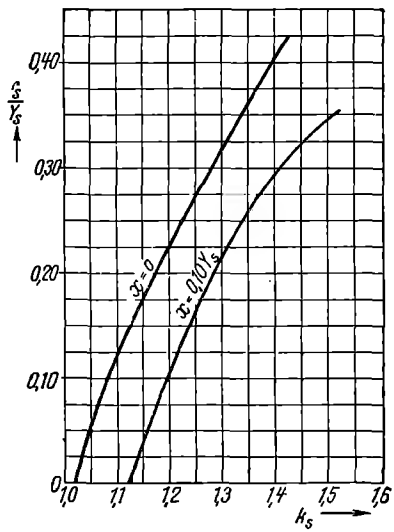


Fig. 10.59. Curbele pentru determinarea razei de racordare r_s a capului bobinei.

— pentru $x=0$: $l_{1,\,x=0} = r_{s0} + 15$

(10.43 e)

— pentru $x=0{,}1\ Y_s$: $l_1,\ x=$

$=0{,}1\ Y_s = r_{s1} + 0{,}1 + 15 Y_s$. (10.43 f)

Pentru construcția șablonului se alege cea mai mare din valorile rezultate pentru l_1, calculîndu-se valoarea corespunzătoare lungimii l_{s1}.

Lungimea bazei mici l_{s2} a trapezului conturului miezului se calculează cu relația :

$$l_{s2} = l_a + z = l_a + 15. \qquad (10.43\ g)$$

Raza r'_s de racordare se stabilește de la caz la caz, asigurîndu-se trecerea lină de pe o suprafață pe alta a miezului.

Pentru confecționarea bobinelor moi din conductor rotund pentru motoare asincrone trifazate cu puteri pînă la 13 kW, se dimensionează șabloanele folosind relații de calcul bazate pe experiența uzinelor producătoare de mașini electrice din țară. Astfel :

— *Pentru bobinele concentrice (grupe de bobine)* dispuse în crestătură într-un singur strat sau în două straturi și cu capul de bobină în două sau trei etaje sau în coroană, în fig. 10.60 este reprezentat un șablon corespunzător grupei de trei bobine.

Notînd cu :

h_c — înălțimea crestăturii, care la acest tip de bobine este cu pereți neparaleli (crestătură tip pară) în mm ;

h_{mc} — înălțimea medie a crestăturii, în mm ;

b_c — lățimea crestăturii, în mm ;

b_{mc} — lățimea medie a crestăturii, în mm ;

$y_{z\,1,2,3}$ — pasul bobinelor *1*, *2*, respectiv *3* (în număr de crestături) ;

Z — numărul de crestături ;

l_{Fe} — lungimea pachetului de tole, în mm ;

D_1 — diametrul interior al pachetului de tole în mm,

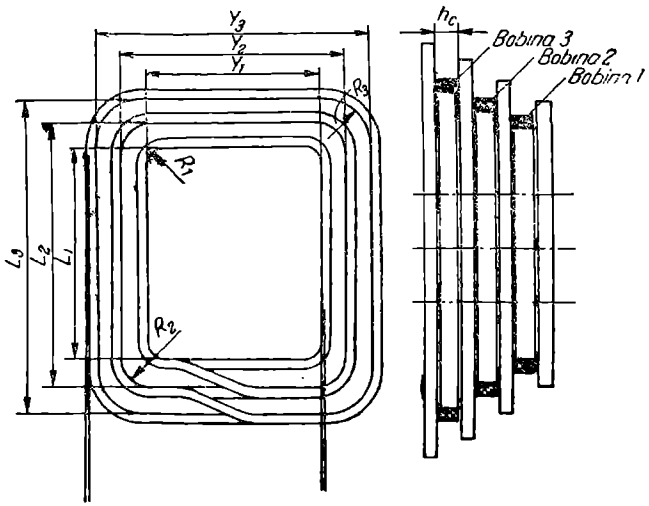


Fig. 10.60. Dimensiunile șablonului pentru confecționarea bobinelor cu conductor rotund, grupă de bobine concentrice, cu capul de bobine în două etaje, bobinaj într-un singur strat.

pentru dimensiunile notate în fig. 10.60 ale șablonului se folosesc următoarele relații uzuale de calcul :

— pentru lățimea miezului șablonului

$$Y_{1,2,3,} = \frac{3{,}14\,(D_i - h_c)}{Z}\, y_{z\,1,2,3} - b_c \quad [\text{mm}]; \tag{10.44}$$

— pentru lungimea miezului șablonului :

$$L_1 = l_{Fe} + 2y + 2R_1 \quad [mm] \qquad (10.45\ a)$$

$$L_2 = L_1 + 2b_{mc} + 2x \quad [mm] \qquad (10.45\ b)$$

$$L_3 = L_2 + 2b_{mc} + 2x \quad [mm]. \qquad (10.45\ c)$$

În cazul particular al motoarelor avînd $2p = 4$ poli și cu puteri pînă la 13 kW, au rezultat din practica întreprinderilor producătoare de mașini electrice din țară, valorile pentru y, x, R_1, R_2 și R_3 indicate în tabela 10.24.

Tabela 10.24

D_1 mm	y mm	x mm	R_1 mm	R_2 mm	R_3 mm
85	10	2	10	20	—
92	10	2	12	22	32
104	10	2	14	26	34
118	10	3	16	28	36
132	12	3	18	30	38

Relațiile de calcul pentru lungimile L_1, L_2 și L_3 sînt indicate pentru un factor de umplere a crestăturii pînă la 0,73, peste această valoare fiind necesare majorări.

În cazul motoarelor cu $2p = 6$ poli, folosindu-se grupe de cîte două bobine, aceiași coeficienți au valorile indicate în tabela 10.25.

— *Pentru bobinele exagonale*, dispuse în crestături în două straturi și cu capul dispus în coroană, folosind aceleași notații, pentru dimensiunile notate în fig. 10.61 se indică următoarele relații de calcul :

Tabela 10.25

D_i mm	y mm	x mm	R_1 mm	R_2 mm
92	10	2	12	22
114	12	3	14	26
135	12	3	14	26
172	12	3	14	26

$$Y = \frac{3{,}14\,(D_i - h_c)}{Z}\, y_z \qquad (10.46)$$

$$L = l_{Fe} + 2y \qquad (10.47)$$

$$A = 0{,}35\ Y \qquad (10.48)$$

$$a = \frac{h_{mc}}{2}. \qquad (10.49)$$

La mașinile asincrone trifazate, avînd $2p = 8$ poli se recomandă pentru mărimile R_1, R_2 și raportul $\frac{A}{Y}$ valorile din tabela 10.26.

— *Pentru bobinele trapezoidale*, folosite în înfășurări cu bobine egale (grupe de bobine egale) dispuse în crestătură într-un singur strat sau în două straturi, dimensiunile șablonului reprezentat în fig. 10.62 se calculează cu următoarele relații :

— pentru lățimea Y a miezului șablonului :

la înfășurări într-un strat :

$$Y = \frac{3{,}14\,(D_i - h_c)}{Z}\, y_Z - b_c \quad (10.50\ a)$$

la înfășurările în două straturi :

$$Y = \frac{3{,}14\,(D_i - h_c)}{Z}\, y_Z \quad (10.50, b)$$

Tabela 10.26

D_i mm	y mm	R_1 mm	R_2 mm	A/Y
114	10	6	15	0,35
135	12	8	20	0,35
172	14	8	20	0,35

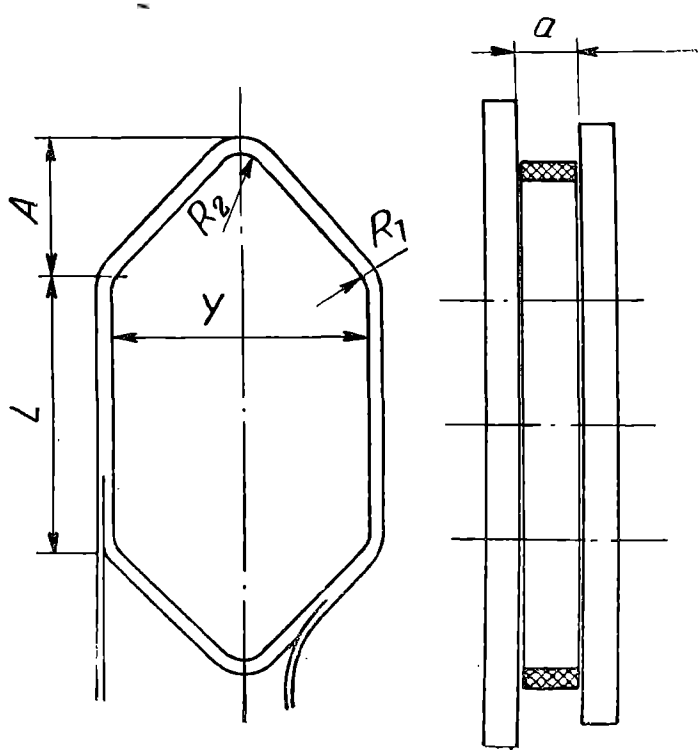


Fig. 10.61. Dimensiunile șablonului pentru confecționarea bobinelor cu conductor rotund, hexagonale, pentru înfășurări cu bobine egale dispuse în crestătură în două straturi și cu capul de bobină dispus în coroană.

Tabela 10.27

D_i mm	y mm	R_1	R_2	A/Y
78	10	6	15	0,30
84	10	6	15	0,30
98	10	6	15	0,35
110	12	8	16	0,35
140	12	8	16	0,35

— pentru lungimea L a miezului şablonului :

$$L = l_{Fe} + 2y \qquad (10.51)$$

— pentru înălţimea a a miezului şablonului :

$$a = \frac{h_{mc}}{Z}. \qquad (10.52)$$

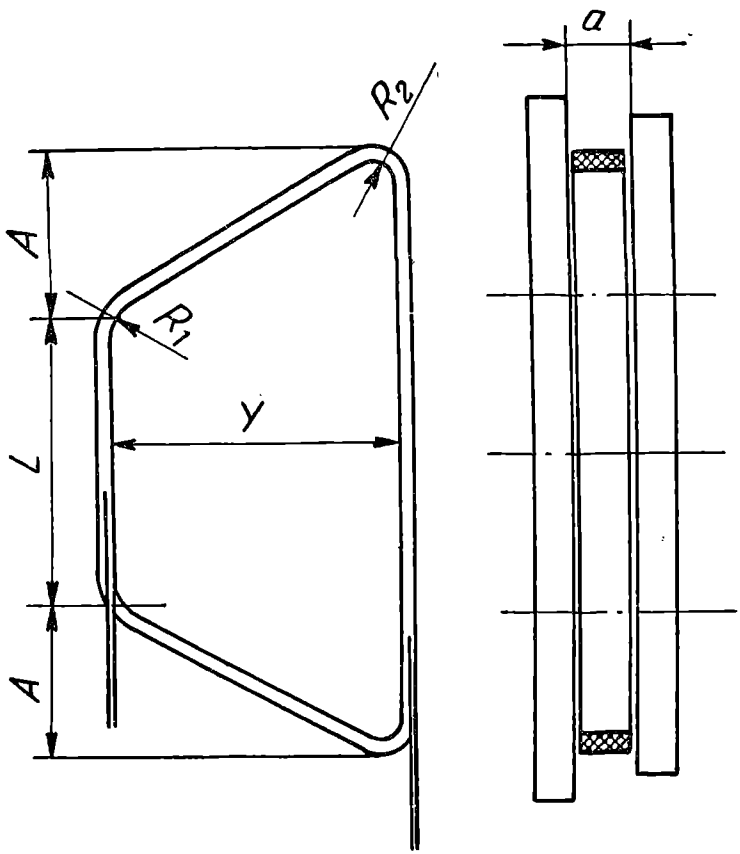


Fig. 10.62. Dimensiunile şablonului pentru confecţionarea bobinelor cu conductor rotund, trapezoidale, pentru înfăşurări cu bobine egale dispuse în crestătură într-un strat sau în două straturi, cu capul de bobină dispus în coroană.

La mașinile asincrone trifazate avînd $2p=2$ poli pentru R_1, R_2 și raportul A/Y se recomandă folosirea valorilor indicate în tabela 10.27.

10.5.3. Confecționarea bobinelor semitari; șabloane și dispozitive

Bobinele semitari sînt în general confecționate cu conductor dreptunghiular. Realizarea formei constructive a acestor bobine se face în două etape : confecționarea bobinei primare și formarea bobinei.

Șabloane pentru confecționarea bobinelor în formă primară ; dimensionarea șabloanelor

În fig. 10.63, *a* și *b* sînt reprezentate două bobine confecționate în formă primară, iar în fig. 10.64 este reprezentat șablonul pentru confecționarea bobinei din fig. 10.63, *a*. Constructiv șabloanele pentru bobinele semitari sînt similare celor folosite pentru bobinele moi însă sînt mult mai robuste pentru a rezista la eforturile ce apar în timpul confecționării bobinelor datorită dimensiunilor conductorului.

Cunoscînd dimensiunile bobinei și folosind notațiile din figura 10.64, *a* și *b* dimensiunile miezului șablonului se calculează astfel :

$$s_1=\frac{l_{y1}}{\cos\alpha}; \tag{10.53}$$

$$s_2=\frac{l_{y2}}{\cos\alpha}. \tag{10.54}$$

Lungimea l_{s1} a miezului rezultă

$$l_{s1}=l_{Fe}+2a_0+2s_2+2r_0 \tag{10.55}$$

unde cota a_0 se alege în funcție de tensiunea nominală a înfășurării conform indicațiilor din tabela 10.13, iar raza de racordare r_0 se alege în funcție de dimensiunile conductorului (diametrul sau înălțimea), conform indicațiilor din tabela 10.28.

Lungimea l_{s2} rezultă egală cu

$$l_{s2}=l_{Fe}+2a_0. \tag{10.56}$$

Înălțimea miezului șablonului pentru bobina din conductor cu secțiunea circulară se calculează după relația :

$$h_m = \frac{m \cdot d_{iz}^2}{b_m}, \qquad (10.57)$$

unde b_m este lățimea mănunchiului, m numărul total de spire ale bobinei, iar d_{iz} — diametrul conductorului izolat.

Tabela 10.28

$2p$	k	$2p$	k
2	1,3	6	1,45
4	1,35	8	1,55

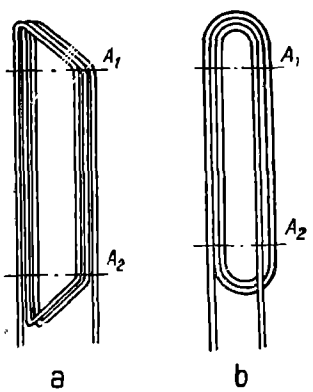


Fig. 10.63. Bobine semitari după confecționarea în formă primară.

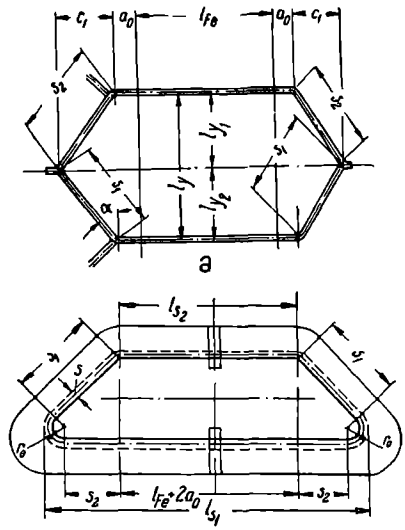


Fig. 10.64. Dimensiunile șablonului pentru confecționarea bobinelor semitari, ale înfășurărilor tip indus de curent continuu :

a — cotarea bobinei finite; *b* — cotarea miezului șablonului.

În cazul conductoarelor de secțiune dreptunghiulară, așezate unele deasupra celorlalte, înălțimea miezului este

$$h_m = b'_c + 0{,}5 \text{ mm}, \qquad (10.58)$$

în care b'_c este dimensiunea conductorului izolat pe care se face așezarea pe suprafața miezului șablonului.

Pentru confecționarea șablonului, se montează șablonul pe axul mașinii de bobinat așa cum este reprezentat în schema din fig. 10.65,

între șablon și tamburul conductor fiind un întinzător pentru realizarea așezării corecte a conductorului pe șablon.

Capătul conductorului care se scoate printr-o crestătură a plăcii frontale a șablonului se fixează cu ajutorul unei menghine. Pentru așezarea corectă a conductorului pe miezul șablonului se pot uti-

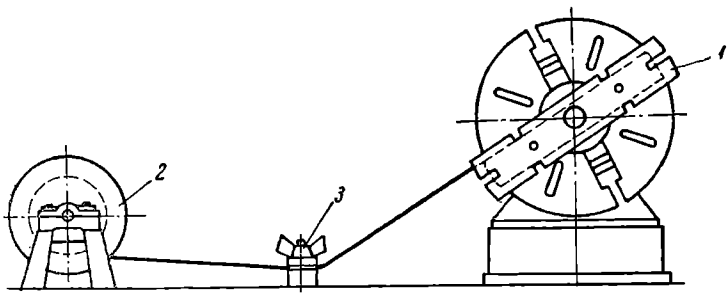


Fig. 10.65. Executarea bobinelor semitari pe mașina de bobinat :
1 — șablonul bobinei; *2* — tambur cu conductor; *3* — întinzător.

liza pene de lemn, de pertinax sau de textolit. Pentru evitarea degradării izolației conductorului sub bacurile întinzătorului, se introduce între acestea și conductor o teacă de prespan, iar conductorul se unge cu parafină.

Șabloane pentru formarea bobinelor semitari

Prin operația de formare, li se dă bobinelor forma care trebuie s-o aibă înainte de introducerea lor în crestătură. În timpul formării, porțiunile din bobina confecționată, cuprinsă între dreptele A_1 și A_2 în fig. 10.63 fiind menținute rectilinii, bobina este supusă la o operație de *întindere* prin care se obține forma dorită a capului de bobină.

Operația de *întindere* a bobinei (v. fig. 10.66) se execută cu ajutorul dispozitivelor de întindere cu acționare manuală sau cu acționare mecanică, numite în practica curentă șabloane de întindere. Un astfel de șablon (fig. 10.67) se compune dintr-o placă de bază *1* pe care poate aluneca un cursor *2*, atît placa cît cursorul fiind prevăzute cu canale *3'* și *3''* în care se introduce bobina. Întinderea bobinei se obține prin deplasarea cursorului *2* pînă ajunge la opritorul *4*. După întindere, bobina capătă forma din fig. 10.66, *b*, iar apoi se consolidează prin legături cu sfoară sau cu bandă albă.

Utilizarea unui astfel de dispozitiv pentru formarea bobinelor are două dezavantaje și anume : dispunerea după formare a mănunchiu-

rilor bobinei nu se face după o suprafață cilindrică, iar formarea capului de bobină este complet necontrolată. Primul dezavantaj este înlăturat prin utilizarea unui dispozitiv de tipul celui reprezentat în

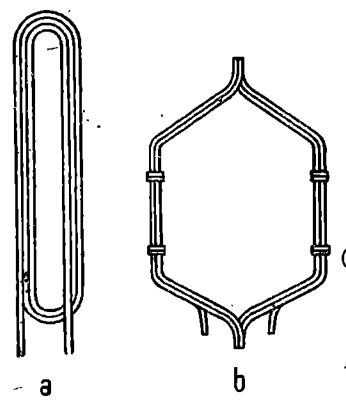


Fig. 10.66. Bobină semitare înainte *(a)* și după *(b)* operația de întindere.

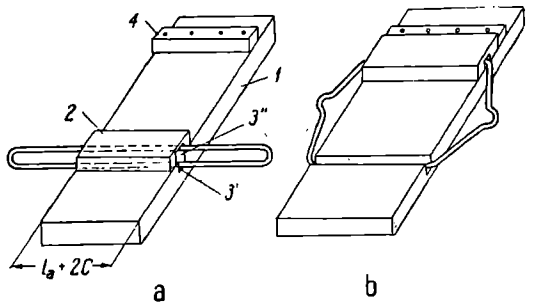


Fig. 10.67. Formarea bobinelor semitari cu șablon special.

fig. 10.68, care se întrebuințează la Uzina de Mașini Electrice din București. Folosind notațiile din fig. 10.68, *a* se stabilesc relațiile :

$$h+K=c+R_m \qquad (10.59\ a)$$

$$R_m=c+h \qquad (10.59\ b)$$

de unde :

$$c=\frac{K}{2} \qquad (10.59\ c)$$

$$h=R_m-\frac{K}{2} \qquad (10.59\ d)$$

$$a=\frac{K}{2}\operatorname{ctg}\frac{\alpha_1}{2}\cdot \qquad (10.59\ e)$$

Aceste valori se calculează, cunoscute fiind : K, R_m și α_1 (din dimensiunile bobinei finite) și dispozitivul se reglează în consecință.

Pentru obținerea unei forme corecte a capului de bobină, se recurge la dispozitive complete care execută și întinderea bobinei și asigură totodată formarea corectă a buclei bobinei.

În confecționarea bobinelor semitari pot fi folosite și șabloane universale de tipul celui reprezentat în fig. 10.69.

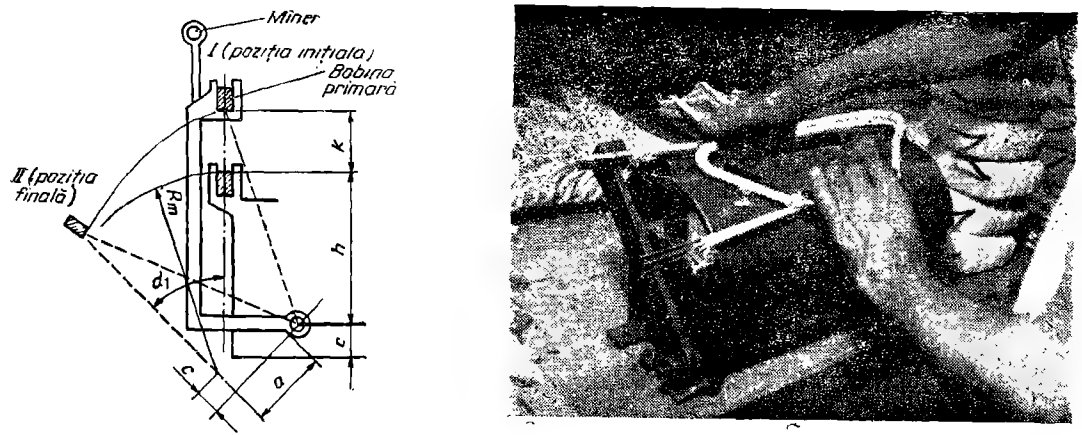


Fig. 10.68. Dispozitiv pentru formarea bobinelor semitari, cu acționare manuală:
a — schema cinematică a dispozitivului; *b* — introducerea bobinei în dispozitiv.

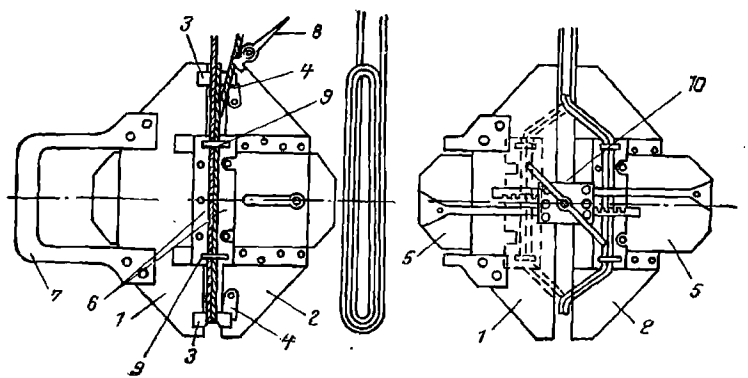


Fig. 10.69 Șablon universal pentru confecționarea și formarea bobinelor semitari.

10.5.4. Confecționarea bobinelor tari (rigide); șabloane și dispozitive

La confecționarea bobinelor tari (rigide) se folosesc șabloane și dispozitive a căror construcție și utilizare este determinată de construcția și de numărul de spire ale bobinei. Astfel, în cazul bobinelor cu mai multe spire se procedează similar cu bobinele semitari, în timp ce la bobinele cu o spiră sau cu o semispiră confecționarea acestora are caracterul de operație de formare.

Șabloane și dispozitive pentru confecționarea bobinelor cu mai multe spire

Constructiv, șabloanele pentru confecționarea acestor bobine sînt similare celor pentru bobinele semitari, dar sînt mai rezistente ca acestea din punct de vedere mecanic.

La formarea bobinelor, această operație trebuind să fie făcută cu suficient de mare exactitate, se dă o atenție deosebită la stabilirea profilului șablonului, în special în zona de curbare a capului de bobină. După operația de formare se mai aduc corectări formei capului de bobină, operația fiind denumită *rihtuire*, iar șabloanele folosite în acest scop sînt similare celui reprezentat în fig. 10.70.

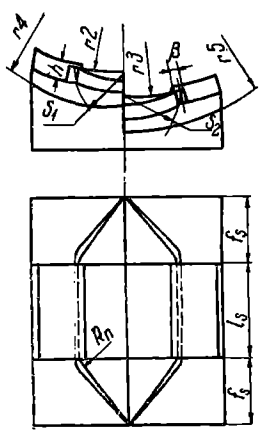


Fig. 10.70. Șablon pentru formarea bobinelor tari (rigide); dimensiunile șablonului.

Folosind notațiile din fig. 10.43 și din fig. 10.70, dimensiunile șablonului de rihtuit (de format) bobine rigide se calculează cu următoarele relații:

$$h = h_{m_{netz}} + (2 \ldots 3)\ \text{mm}; \qquad (10.60\ a)$$

$$r_2 = R_1 - (2 \ldots 3)\ \text{mm}; \qquad (10.60\ b)$$

$$r_3 = R_2 - (2 \ldots 3)\ \text{mm}; \qquad (10.60\ c)$$

$$r_4 = r_2 + h + 1{,}5\ k; \qquad (10.60\ d)$$

$$r_5 = r_3 + h + 1{,}5\ k + 2r_1; \qquad (10.60\ e)$$

$$S_1 = 2\ \sin \frac{\alpha_1}{4}\ r_2; \qquad (10.60\ f)$$

$$S_2 = 2\ \sin \frac{\alpha_1}{4}\ r_3; \qquad (10.60\ g)$$

$$f_{s\,1,2} = l_f - \frac{S_{1,2}}{2 \cos \alpha}. \qquad (10.60\ h)$$

Şabloane pentru confecţionarea bobinelor cu o spiră şi a semispirelor

În procesul tehnologic de executare a bobinelor rigide din conductor bară, nu pot fi despărţite operaţiile de confecţionare de operaţiile de formare a bobinei.

În fig. 10.71 sînt reprezentate fazele prin care trece o bobină rigidă cu o singură spiră în timpul executării ei.

Îndoirea barelor pentru obţinerea buclei din fig. 10.71, *b* se face cu ajutorul unui dispozitiv de forma reprezentată în fig. 10.72. Acesta se compune dintr-o placă pe care sînt montate două dispozitive de strîngere a barei (menghine), din care unul este fix *1*, iar al doilea *2* se poate roti în jurul axei *3*. Prin rotirea dispozitivului *2* din poziţia *2'* în poziţia *2''* se obţine bucla spirei.

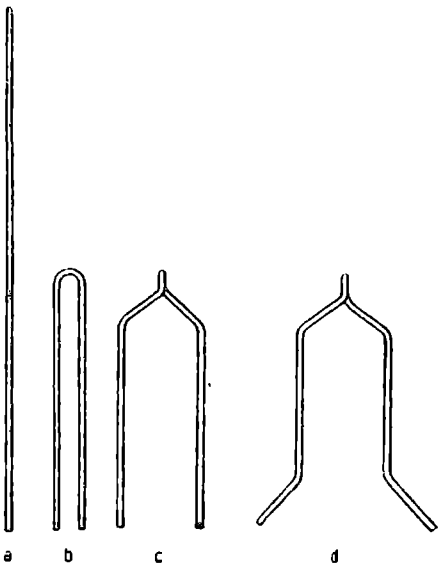


Fig. 10.71 Fazele prin care trece o bobină rigidă dintr-o singură spiră în timpul executării ei.

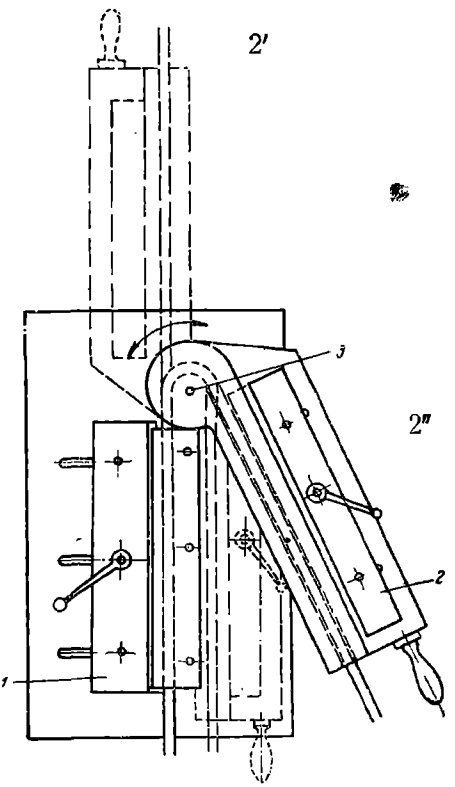


Fig. 10.72. Dispozitiv pentru îndoirea pe muchie (pe cant) a barelor pentru confecţionarea bobinei rigide formate dintr-o singură spiră.

Pentru formarea capului de bobină se utilizează un şablon similar celui reprezentat în fig. 10.73. Se strînge bucla spirei *1* în menghina *2* a şablonului, iar laturile spirei, cu ajutorul unui ciocan de lemn se aştern de-a lungul ramelor *3* şi *4*, a căror poziţie se stabileşte corespunzător deschiderii spirei. Pentru executarea operaţiilor de formare a spirei se poate utiliza şi dispozitivul reprezentat în fig. 10.74. În această figură se arată modul în care se pot realiza toate operaţiile de con-

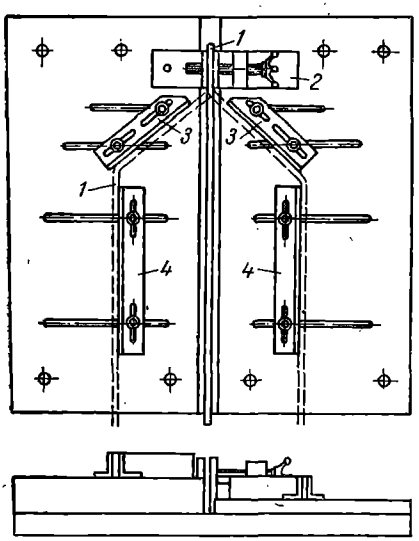


Fig. 10.73. Dispozitiv (şablon) pentru formarea capului bobinelor rigide formate dintr-o singură spiră (conductor-bară).

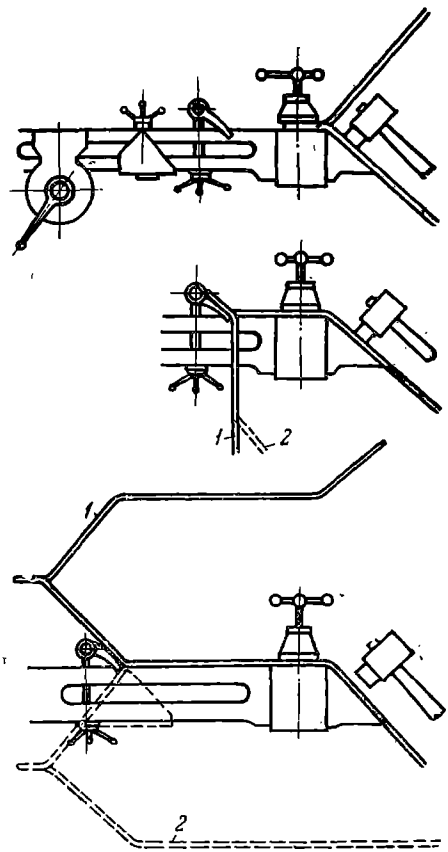


Fig. 10.74 Dispozitiv reglabil pentru confecţionarea bobinelor rigide dintr-o singură spiră şi operaţiile de formare a spirei.

fecţionare şi formare a bobinei din conductor bară cu acest dispozitiv. Pentru confecţionarea de semibobine din conductor bară se poate utiliza şi dispozitivul reglabil din fig. 10.75. Spre deosebire de acela reprezentat în fig. 10.74, acest dispozitiv se pretează cu uşu-

rință la executarea unui mai mare număr de tipuri de bobine, reglajul distanțoarelor *3* fiind foarte simplu de executat. Îndoirea barei se realizează cu ajutorul pîrghiei *4* prevăzută cu cama *5*.

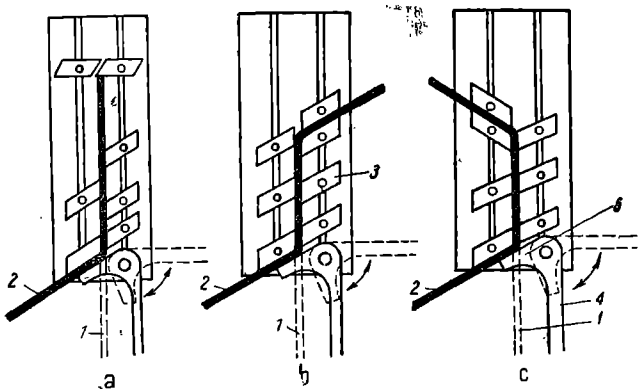


Fig. 10.75. Dispozitiv reglabil pentru confecționarea semibobinelor (semispirelor) din conductor-bară.

După realizarea acestor operații, este necesară formarea bobinei după o suprafață cilindrică. În acest scop se utilizează fie dispozitivul din fig. 10.76 fie (pentru curbura barei în zona capului de bobină), dispozitivul din fig. 10.77.

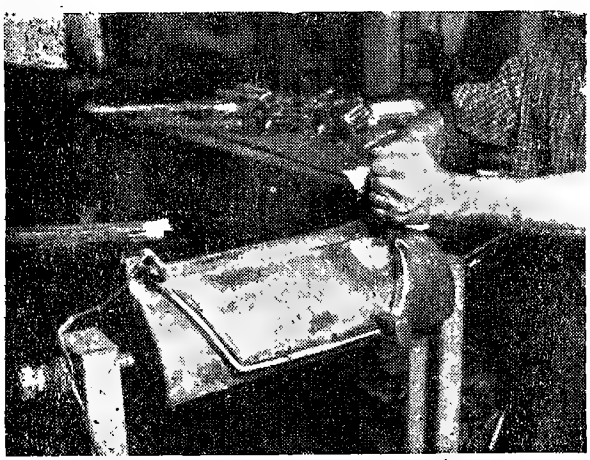


Fig. 10.76. Dispozitive pentru formarea bobinelor pe suprafață cilindrică.

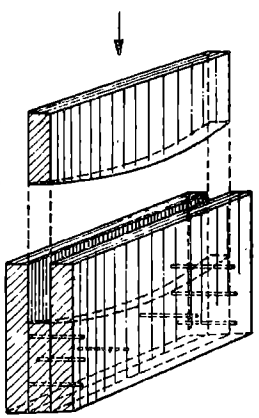


Fig. 10.77. Dispozitiv pentru formarea (rihtuirea) capului de bobină.

10.5.5. Confecționarea bobinelor cu transpoziții

În cazul curenților mari, secțiunea conductorului de bobinaj rezultă mare și datorită așezării în crestătură, la funcționarea mașinilor la turația nominală apar pierderi suplimentare mari. De aceea se recurge la divizarea conductorului în conductoare elementare.

La utilizarea de conductoare rotunde, numărul conductoarelor elementare dispuse în paralel este limitat la maximum șase conductoare. În cazul conductoarelor de secțiune dreptunghiulară, pentru asigurarea unei funcționări în condițiuni similare la toate conductoarele elementare (pentru evitarea producerii de curenți de circulație între conductoarele în paralel), este necesar ca fiecare conductor să ocupe succesiv toate pozițiile din crestătură. Aceasta se realizează cu ajutorul transpozițiilor.

Transpozițiile se realizează în două forme constructive :

— *cu bare încrucișate*, așa cum este reprezentat în fig. 10.78 și se aplică la încrucișări de cîte două bare vecine avîndu-se grijă ca secțiunea în zona încrucișării să nu fie mai mică decît secțiunea conductorului elementar ;

— *cu bare răsucite*, conform cu reprezentările din fig. 10.79.

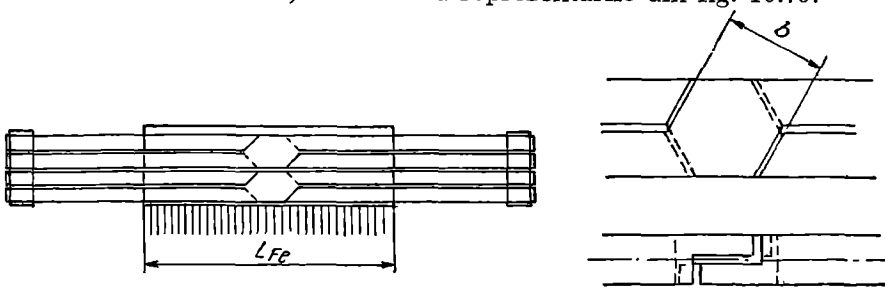


Fig. 10.78. Realizarea transpozițiilor prin bare încrucișate.

În fig. 10.79, se reprezintă cazul transpunerii prin răsucire la un număr redus de conductoare elementare și etapele de confecționare : conductoarele gata pentru formare (răsucire) (fig. 10.79, *a*) barele răsucite (fig. 10.79, *b*) și ansamblul de bare cu transpoziții (fig. 10.79, *c*).

În fig. 10.80 este reprezentată realizarea transpozițiilor prin răsucire în cazul unui număr mai mare de bare elementare (la mașinile electrice de mare putere).

Pentru realizarea transpozițiilor, barele elementare se profilează așa cum se arată în fig. 10.80, *a*, lungimea porțiunii de deviere a barei depinzînd de numărul de conductoare elementare n și de distanța a

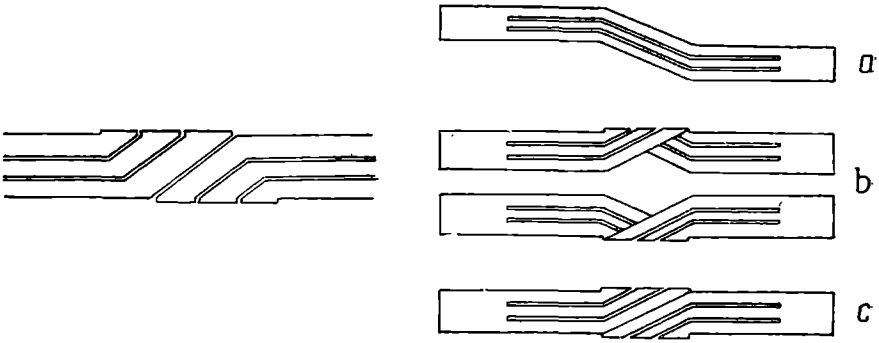


Fig. 10.79. Realizarea transpoziţiilor prin bare răsucite :
a — ansamblu de bare gata pentru formare; b — ansamblu de bare îndoite; c — ansamblu cu transpoziţiile realizate.

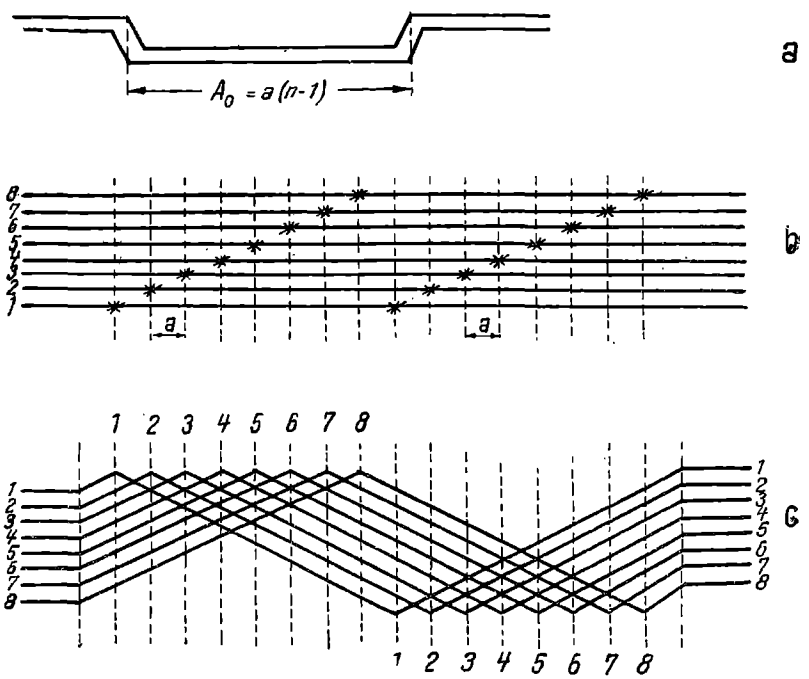


Fig. 10.80. Executarea transpoziţiilor barelor împletite :
a — dispunerea porţiunilor de trecere la un conductor elementar; b — dispunerea porţiunilor de trecere pe o jumătate a barei; c — schema de principiu a transpoziţiilor conductoarelor elementare ale unei jumătăţi de bară.

între transpoziții. Cunoscînd că de-a lungul crestăturii transpozițiile fiind $2n$, rezultă că distanța a între două transpoziții se poate calcula cu relația

$$a = \frac{l_{Fe}}{2n+1} \tag{10.61}$$

l_{Fe} fiind lungimea miezului feromagnetic.

Impletirea barelor pentru realizarea transpozițiilor se execută în următoarele etape : așezarea conductoarelor în trepte, operație denumită și împachetarea conductoarelor elementare ; îndoirea în porțiunea de trecere și împletirea propriu-zisă. La împachetare conductoarele elementare se așează în trepte cu ajutorul unui șablon (pieptene), avînd forma reprezentată în fig. 10.81. Pachetul de bare consolidat pe lungime cu ajutorul unor scoabe de oțel (fig. 10.82) este supus operației de îndoire, pentru treceri, folosindu-se un dispozitiv cu camă profilată (fig. 10.83). Împletirea barelor elementare conform schemei reprezentată în fig. 10.80, *c* se execută manual.

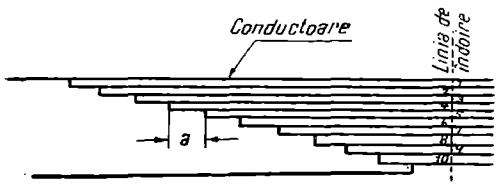


Fig. 10.81. Pieptene pentru completarea pachetului de benzi ale barei conductoare.

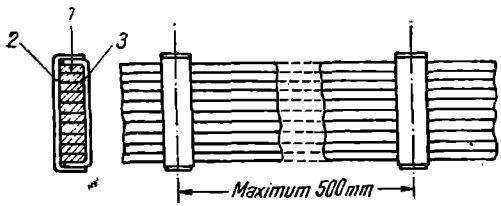


Fig. 10.82. Fixarea barelor conductoare în scoabe :

1 — benzi conductoare; *2* — scoaba de sus; *3* — scoaba de jos.

La realizarea izolației bobinelor cu transpoziții se ține seamă dacă conductoarele elementare sînt neizolate sau izolate. Între conductoarele vecine neizolate se introduc benzi de micanită de 0,25 mm. Cînd conductoarele elementare sînt izolate, între jumătățile de bară se introduc izolații verticale de micanită de grosime cuprinsă între 0,8 și 1,0 mm, forma acestora fiind reprezentată în fig. 10.84. Benzile au lățimea egală cu înălțimea unei bare neizolate. În porțiunile de trecere se introduc plăcuțe de micanită avînd o formă rombică, între toate conductoarele elementare (cînd acestea sînt neizolate) sau la întîlnirea conductelor aparținînd la jumătăți diferite de bară (în cazul conductoarelor elementare izolate).

După executarea izolației între conductoarele elementare se ajustează porțiunile de trecere, după care barele de transpoziții se pre-

sează la cald, pentru a forma un conductor compact. În vederea presării barelor cu conductoare elementare neizolate, acestea se ung cu lac de bachelită care se lasă să se zvînte la 50—60 °C timp de 3—4 ore. Ansamblul barelor se înfăşoară cu un strat de bandă de bumbac şi apoi cu cîteva straturi de hîrtie parafinată, iar apoi se presează la 140—160 °C timp de 60 min pentru barele din conductoare elementare izolate, sau timp de 2,5 ore pentru cele realizate cu conductoare elementare acoperite cu lac de bachelită.

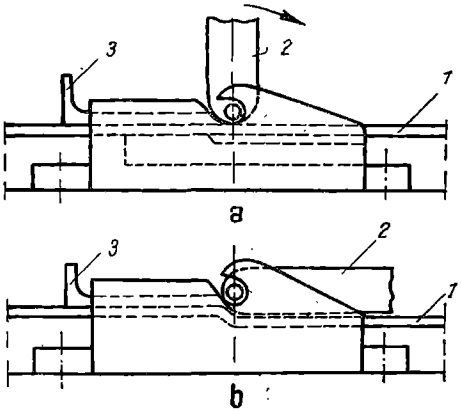


Fig. 10.83. Dispozitiv pentru îndoirea barelor la locul de trecere :
a — la introducerea şi fixarea barei; *b* — după îndoirea barei; *1* — conductorul; *2* — pîrghie cu camă profilată; *3* — pană pentru fixarea conductorului în dispozitiv.

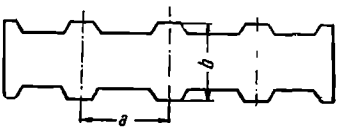


Fig. 10.84. Placă verticală izolantă din micanită, ce se introduce între jumătăţile unei bare cu transpoziţii.

Izolarea la exterior a barelor cu transpoziţii se execută la fel ca la bobinele tari.

10.6. IZOLAREA BOBINELOR ÎNAINTE DE INTRODUCEREA LOR ÎN CRESTĂTURI

Bobinele semitari şi bobinele tari se izolează înainte de a fi introduse în crestături. Se deosebesc două metode de izolare dependente de forma izolaţiei : una pentru bandă electro-izolantă, iar alta pentru materiale electroizolante sub formă de foi sau folii.

10.6.1. Izolarea bobinelor cu bandă

Izolarea cu bandă poate fi făcută, aşa cum este reprezentat în fig. 10.85 în trei moduri : bandă înfăşurată rar (*a*), bandă înfăşurată cap la cap (*b*) sau bandă aşezată suprapus (*c*).

Aplicarea benzii poate fi făcută manual sau cu ajutorul mașinilor de izolat cu bandă, de tipul celei reprezentată în fig. 10.86. La izolarea bobinei cu bandă, trebuie să se lucreze cu multă atenție, evitîndu-se punctele de discontinuitate (neuniformitate) sau goluri în izolației bobinei, precum și supraîngroșări inutile ale izolației.

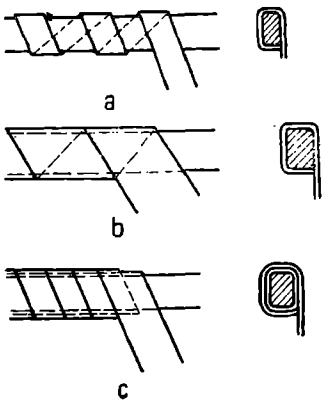


Fig. 10.85. Moduri de izolare cu bandă a laturilor bobinelor :
a — înfășurare rară; *b* — înfășurare cap la cap; c — înfășurare jumătate suprapus.

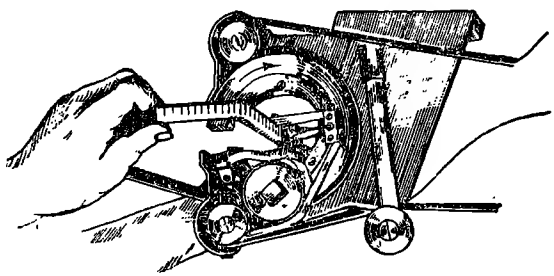


Fig. 10.86. Mașină de izolat cu bandă.

La aplicarea benzilor izolante se are în vedere și natura materialului benzii și a izolației ce trebuie în final realizată. Astfel, aplicarea unei izolații cu bandă din țesătură de fire de sticlă constă în general dintr-un strat de bandă aplicată jumătate suprapus pe porțiunea dreaptă a bobinei, în zona capetelor de bandă, banda putînd fi aplicată la fel sau cap la cap.

Prin izolarea cu micabandă a bobinelor se realizează unul din următoarele două sisteme de izolație : sistemul clasic și sistemul de izolație continuă impregnate cu rășini sintetice.

În sistemul clasic se folosește micabandă cu lac oleobituminos.

Izolarea cu micabandă se poate face manual sau cu mașina. Ordinea de așezare a micabenzii de-a lungul conturului bobinei este arătat în fig. 10.87, iar începutul acestei operații se execută conform fig. 10.88.

În tot timpul izolării micabanda este înfășurată în același sens. Pentru asigurarea unor izolări corecte a bobinei, în timpul izolării cu micabandă este necesar ca :

— banda de mică să fie crudă (umedă) și suficient de flexibilă ;

— fiecare strat de micabandă trebuie să fie așezat jumătate suprapus ;

— micabanda să fie așezată strîns. Aceasta se realizează prin tensionarea cu mîna sau cu benzi de bumbac după aplicarea micabenzii ;

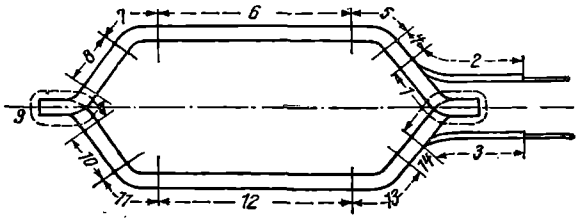


Fig. 10.87. Ordinea de izolare a unei bobine tari cu micabandă.

Tabela 10.29

Tensiunea nominală a înfășurării V	c mm
Pînă la 150	8
150— 400	10
401— 700	12
701—1 200	16

— la ruperi, începutul benzii se așează sub capătul rupt cu o suprapunere care să nu depășească înălțimea stratului care se izolează ; suprapunerea nu se poate face decît pe partea lată a bobinei.

Pentru realizarea unei izolații cît mai uniforme în diferitele porțiuni ale bobinei, ținîndu-se seamă de forma constructivă a acestora, se alege bandă lată de 25—35 mm pentru izolarea porțiunilor drepte, iar pentru zona capetelor de bobină se întrebuințează benzi înguste (10—20 mm). Pentru evitarea supraîngroșărilor izolației, în cazul utilizării benzilor late la izolarea capetelor de bobină, în zona coturilor se practică decupări în lățimea benzii, păstrîndu-se același număr de straturi ale izolației.

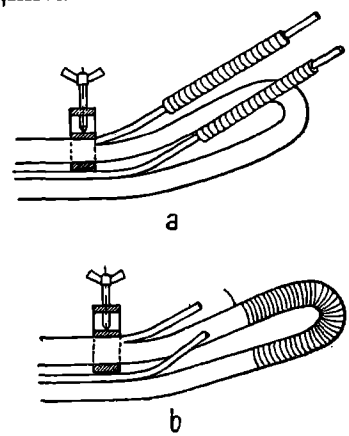


Fig. 10.88. Începutul izolării bobinei :
a — izolarea capetelor de legătură;
b — izolarea buclei capului de bobină.

În cazul izolării bobinelor cu micabandă, alegerea lățimii benzii se stabilește conform indicațiilor din tabela 10.29.

Pentru tensiuni nominale mai mari la 3 000 V numărul de straturi necesare cu care se izolează porțiunea dreaptă a bobinei se alege cu ajutorul diagramei din fig. 10.89.

La relizarea izolației și deci la stabilirea numărului de straturi de micabandă trebuie ținut seamă că pe diferite porțiuni ale bobinei

acest număr nu este același. Astfel, pentru izolarea unei bobine pentru tensiunea de 6 kV, pe porțiunile drepte și la curburi se aplică 10 straturi, pe porțiunile frontale ale capului de bobină 8 straturi, iar la buclă — 5 straturi.

După izolarea cu micabandă, bobina este supusă operației de impregnare sau compundare. Prin strîngerea corespunzătoare a materialului (fig. 10.90), se obține o izolație uniformă. După impregnare se face calibrarea bobinei pe porțiunile drepte, corectîndu-se izolația pentru obținerea cotelor din desen.

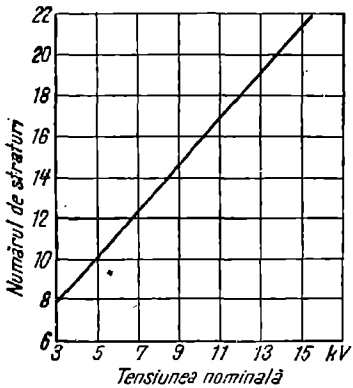


Fig. 10.89. Numărul de straturi de micabandă în funcție de valoarea tensiunii nominale a înfășurării.

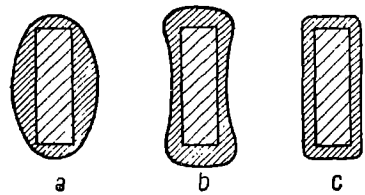


Fig. 10.90. Bare izolate cu micabandă înainte și după compundare :
a — înainte de compundare; *b* — după compundare, cînd micabanda a fost slab înfășurată; *c* — după compundare, cînd micabanda a fost bine înfășurată.

Cînd pentru izolarea bobinei se folosesc mai mult de 10 straturi de micabandă, aplicarea benzii se poate face în două sau trei etape, alternate cu operația de impregnare.

În construcția modernă a mașinilor electrice, izolarea bobinelor se realizează în principiu cu micabandă folosind ca material de impregnare rășini sintetice. S-au dezvoltat sistemele de izolație cunoscute sub denumirea : Termalastic (Westinghouse-S.U.A.) Micalastic (Siemens S.W.-R.F..G), Micapol (General Electric-S.U.A.), Micardur (B.B.C.-Elveția), Romicafil (Micafil-Elveția). În țara noastră, Institutul de cercetare și Proiectare pentru Industria Electrotehnică (ICPE) în colaborare cu Uz. Electroputere-Craiova și cu Fabrica de Mașini Electrice a U.C.M.-Reșița au realizat un sistem de izolație folosind micabandă și rășini sintetice.

Trecerea la sistemul nou de izolare a fost determinată de obținerea unei comportări mai bune a izolației barelor cu izolație continuă la variații repetate ale temperaturii. În realizarea izolației cu micabandă și rășini sintetice se folosește micabandă cu foiță de mică sau

hîrtie de mică pe un suport, preferabil țesătură din fire de sticlă, iar ca liant o rășină sintetică, în cele mai multe cazuri rășină epoxidică. Sînt două moduri de lucru, determinate de conținutul de liant al benzii, respectiv cu sau fără impregnare după aplicarea micabenzii pe tot conturul bobinei. După aplicarea benzii izolante bobinele sînt trecute la operațiile de uscare și impregnare cu lacul pe bază de rășini sintetice, după care, pe porțiunea dreaptă, se lasă la cald în vederea realizării atît a dimensiunilor necesare, cît și a întăririi rășinii din componența benzii și a lacului de impregnare. Presarea se face în dispozitive de tipul celor reprezentate în fig. 10.91, iar încălzirea, în cazul utilizării benzilor Romica (Micafil), durează 3 ore la 120 ... 135 °C sau 90 min la 145 °C. Pentru a evita aderarea bobinei la dispozitivul de presare, se aplică pe suprafața ei o foaie sau o bandă intermediară (bandă sau foliu de tereftalat de polietilenă, hîrtie cu lac siliconic, hîrtie parafinată etc.). Întărirea completă se realizează încălzind la 110 ... 120 °C timp de 10 ... 12 ore bobinele scoase din presă, în unele cazuri introduse deja în crestăturile miezului feromagnetic.

Întrucît prin întărirea rășinei de-a lungul întregului contur al bobinei se obțin bobine tari (rigide), pentru a se realiza bobinele se-

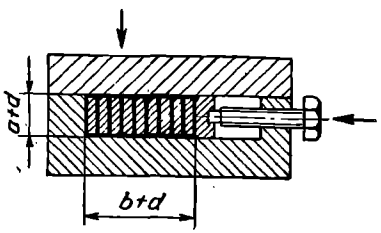


Fig. 10.91. Sisteme de presare a bobinelor după aplicarea izolației cu micabandă și rășină sintetică (după Micafil).

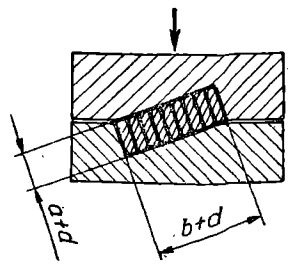


Fig. 10.92. Sistem de presare a bobinelor izolate cu micabandă pe suport de țesătură din fire de sticlă și rășină epoxi.

mitari în acest sistem de izolare, se poate proceda fie la izolarea și tratarea întîi a porțiunii drepte a bobinei după întărirea completă aplicîndu-se micabanda în zona capetelor de bobină, sau se asigură în timpul presării la cald a bobinei răcirea corespunzătoare a zonelor capetelor de bobină izolate.

În fig. 10.92 se arată sistemul de presare a bobinelor la motoarele de 160 kW, 6 kV, 600 rot/min realizate la Uz. Electroputere-Craiova în sistemul de izolație cu micabandă pe suport de țesătură din fire de sticlă și rășină expoxidică.

În tehnica izolării bobinelor mașinilor electrice de înaltă tensiune în ultimii ani au fost realizate sisteme folosind benzi izolante lipsite de mică (foiță sau hîrtie de mică). Astfel de benzi izolante sînt : benzi de cauciuc siliconic (Dow Corning, SUA), sau benzi din țesătură de sticlă cu rășină epoxidică (Fuji Deńki, Japonia), acest din urmă sistem pentru tensiuni pînă la 11 kV. Prin izolarea cu benzi de cauciuc siliconic, se deschide posibilitatea realizării mașinilor de înaltă tensiune în clase de izolație superioare clasei B din sistemul clasic, putîndu-se merge eventual la clasa de izolație F și H.

10.6.2. **Izolarea cu folii a porțiunii drepte a bobinelor**

La folosirea de materiale sub formă de folii (foi) izolația bobinei se compune din teaca izolantă continuă (pe porțiunea dreaptă), micabandă (pe părțile frontale ale capetelor de bobină) și pînză lăcuită pe suprafața capetelor bobinei (în cazul izolației mixte).

Înainte de începerea izolării porțiunilor drepte ale bobinelor se execută izolarea legăturilor, părților frontale și buclelor capetelor de bobină, după care se izolează coturile.

După executarea izolației curburii se trece la confecționarea tecii din micafoliu, aceasta constînd din : aplicarea micafoliului, rularea materialului și presarea tubului.

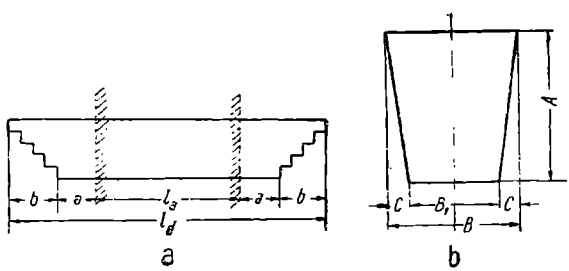


Fig. 10.93. Șabloane de trasare pentru izolația coturilor (*a*) și a micafoliului tecii continue pe porțiunea dreaptă (*b*) a bobinelor.

Pentru trasarea izolației se folosesc șabloane avînd forma reprezentată în fig. 10.93, *a*. Distanța *a* (fig. 93, *a*) corespunzînd stratului exterior de micabandă trebuie respectată cu strictețe, asigurîndu-se astfel o grosime normală a tubului izolant al porțiunii drepte a bobinei la ieșirea din crestătură a acesteia. De asemenea trebuie respectată cu strictețe așezarea în trepte uniforme a straturilor de micabandă.

Dimensiunile foliului izolant sînt funcție de lungimea porțiunii drepte (l_d) și de secțiunea bobinei și se stabilesc cu ajutorul șablonului reprezentat în fig. 10.93, *b*. Dimensiunile acestui șablon se calculează astfel :

— lățimea A a șablonului se calculează cu relația :

$$A = n \cdot f = \frac{d}{t}(a+b+d), \tag{10.62}$$

în care

$n = \frac{d}{2t}$ este numărul de straturi de micafoliu necesar pentru obținerea grosimii izolației, t fiind grosimea micafoliului, iar d — grosimea bilaterală a tecii izolante ;

f este perimetrul mediu al secțiunii porțiunii drepte a bobinei, care, conform cu notațiile din fig. 10.94 se calculează cu relația

$$f = 2\ (a+b+d); \tag{10.63}$$

celelalte dimensiuni ale șablonului din fig. 10.93, *b* au următoarea semnificație :

B este lungimea totală a tubului izolant (a tecii izolante) ;

C este lungimea conului în zona de trecere la izolația cotului (curburii) ;

B_1 este lungimea porțiunii compacte a tubului (tecii) așezată pe latura bobinei.

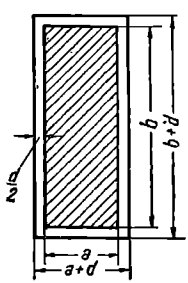


Fig. 10.94. Notarea dimensiunilor mănunchiului izolat cu teaca din micafoliu.

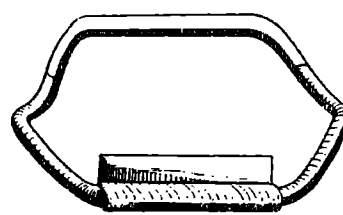


Fig. 10.95. Aplicarea micafoliului pentru realizarea tecii izolante continui.

Aplicarea micafoliului pe bobina unsă cu un lac de încleiere se face manual, așa cum se arată în fig. 10.95. Deasupra ultimului strat de micafoliu se așază $1\frac{1}{2}$... 2 straturi de hîrtie parafinată de 0,07 mm acoperită cu lac de încleiere, iar peste acesta se adaugă cîteva straturi

de preşpan de 0,1—0,2 mm, care servesc numai pentru protejarea mecanică a tubului în timpul operaţiei de rulare.

Rularea se realizează prin strîngerea izolaţiei în jurul bobinei, la temperaturi cuprinse între 180 şi 200 °C (teci aplicate pe bare) sau între 200 şi 250 °C (teci aplicate pe bobină). Operaţia de rulare se realizează cu ajutorul unor maşini speciale de rulat prevăzute cu dispozitive de călcare de tipul reprezentat în fig. 10.96.

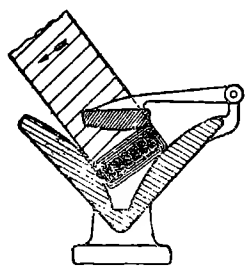


Fig. 10.96. Dispozitiv pentru călcarea tecii izolante din micafoliu.

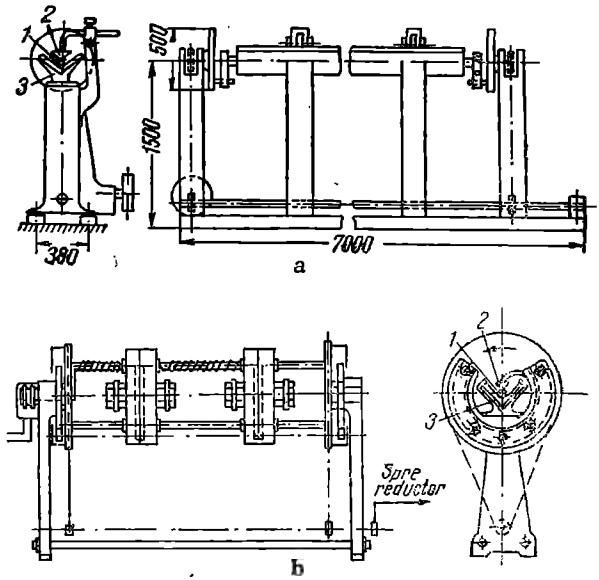


Fig. 10.97. Maşini de rulat teaca izolantă a bobinelor : *a* — pentru rularea tecii izolante a barelor; *b* — pentru rularea tecii izolante a bobinelor închise.

În practică se folosesc maşini pentru rularea izolaţiei barelor şi maşini pentru rularea izolaţiei bobinelor întregi. În fig. 10.97 sînt reprezentate schematic aceste maşini. La maşina pentru rularea izolaţiei barelor, dispozitivul de călcare este fix, bara *1* rotindu-se între suprafeţele active ale călcătorului. Pentru rularea tecii izolante a bobinelor închise, bobina este fixă, călcătorul fiind în mişcare de rotaţie. Durata rulării tuburilor izolante pentru bobine de dimensiuni mici este de 20—30 min (pentru o latură de bobină), putînd ajunge pînă la 45 min.

În atelierele de reparații, în locul mașinilor complicate pentru rularea izolației barelor de dimensiuni pînă la 600 mm se poate folosi un dispozitiv similar celui reprezentat schematic în fig. 10.98.

Presarea tubului se execută *la rece* (adică pe prese fără încălzire) imediat după operația de rulare, tubul și întreaga bobină fiind în stare caldă din timpul rulării. Executarea presării după răcirea bo-

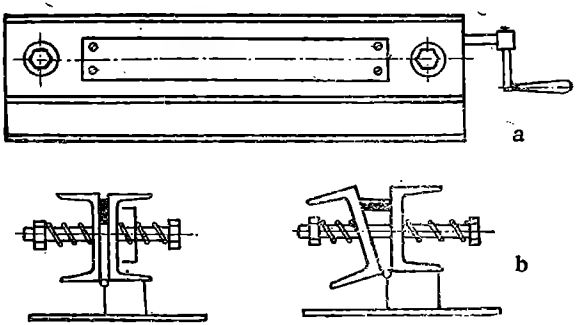


Fig. 10.98 Dispozitiv pentru rularea izolației barelor *(a)* cu rotirea barei între piesele de călcare *(b)*.

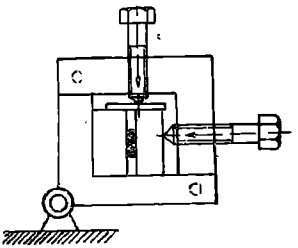


Fig. 10.99. Presă manuală cu șuruburi pentru presarea tecilor rulate.

binei și a tubului întărit nu este recomandată, întrucît tubul se deteriorează. Presele folosite la această operație sînt de obicei cu acționare manuală (fig. 10.99).

În atelierele de reparații se folosesc simultan mai multe prese de acest gen montate în linie pe o placă comună.

În cazul bobinelor destinate înfășurărilor cu tensiune nominală de 6 kV sau peste această valoare, teaca izolantă presată la rece se mai supune unui tratament de presare la cald, prin aceasta îndepărtîndu-se resturile de diluant din locul de încleiere și aerul dintre straturile de micafoliu. Această operație este obligatorie pentru bobinele mașinilor de mare putere (peste 4 000 kW).

Operația de presare la cald se execută cu ajutorul unei prese hidraulice. Timpul total de presare, inclusiv răcirea în presă a bobinei, durează pînă la 2 ore, temperatura plăcilor dispozitivului de presare în timpul presării fiind de 180 °C. În timpul presării, teaca izolantă se protejează printr-o înfășurare cu preșpan de grosime 0,15—0,20 mm.

10.7. INTRODUCEREA BOBINELOR ÎN CRESTĂTURĂ ; BOBINAREA

10.7.1. Etapele procesului tehnologic de bobinare

Executarea operațiilor legate de bobinarea mașinilor electrice necesită o calificare ridicată a lucrătorilor bobinatori, căci de modul în care sînt îndeplinite aceste operații depind caracteristicile funcționale ale mașinii. Bobinatorul trebuie să cunoască în amănunt toate operațiile care compun procesul de bobinare, să cunoască construcția înfășurărilor, a bobinelor, a izolațiilor, precum și caracteristicile materialelor folosite în construcția înfășurărilor și caracteristicile ce trebuie să fie realizate de înfășurare.

Etapele principale ale procesului tehnologic de bobinare a mașinilor electrice sînt în general următoarele :

— pregătirea miezului magnetic în vederea bobinării ;

— izolarea crestăturilor și a suporților pentru capetele de bobină ;

— introducerea bobinelor în crestături ;

— executarea conexiunilor bobinelor ;

— executarea conexiunilor la borne (pentru înfășurările din stator) și la sistemul de colectare (colectare, inele de contact) pentru înfășurările din rotor ;

— încercarea înfășurărilor.

După executarea acestor operații statorul sau rotorul este gata pentru impregnare și respectiv pentru montare.

10.7.2. Pregătirea miezului magnetic în vederea bobinării

Pregătirea miezului magnetic constă în examinarea pachetului și îndepărtarea eventualelor bavuri sau scurtcircuitări între tole. Miezul magnetic se suflă cu aer și se acoperă prin pulverizare cu un strat fin de vopsea de protecție. Izolația inelelor de contact și a colectoarelor montate pe arbore se încearcă cu megohmmetrul pentru a constata că nu există puneri la masă sau contacte electrice între lamelele colectorului.

În vederea bobinării, miezurile magnetice se așază în atelierul de bobinat într-un loc luminos, curat și suficient de larg, astfel încît să fie accesibil din toate direcțiile. Rotoarele se așază pe stative

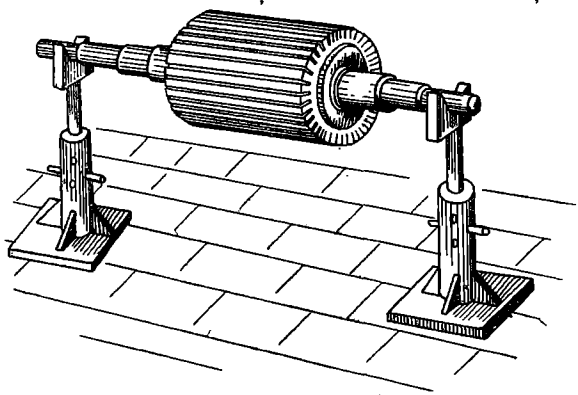


Fig. 10.100. Stative (capre) reglabile pentru așezarea rotoarelor în vederea executării operației de bobinare.

(capre fig. 10.100) iar statoarele se așază pe postamente (mese), astfel ca să se poată lucra cît mai comod.

10.7.3. **Izolarea miezului feromagnetic**

Izolarea crestăturilor : teaca izolantă a crestăturii

În această fază a procesului tehnologic se introduc în crestături elementele izolației confecționate separat : izolația la fundul crestăturii și teaca izolantă.

Din punct de vedere constructiv se deosebesc două tipuri de teci izolante și anume : teacă deschisă și teacă închisă.

Teaca deschisă utilizată în construcția mașinilor de tensiune joasă se confecționează din fîșii de material electroizolant.

Debitarea fîșiilor din foi se face cu foarfece de mînă sau foarfece cu role, lățimea fîșiilor stabilindu-se în funcție de perimetrul crestăturii și ținîndu-se seamă că, după introducerea în crestătură, este necesar ca teaca izolantă să depășească crestătura cu 10 ... 15 mm pe fiecare parte (fig. 10.101). Tecile se formează manual (prin îndoire), sau mecanic cu ajutorul unei matrițe cu poanson (fig. 10.102, *a*) de același profil ca și crestătura sau cu ajutorul unui dispozitiv cu role profilate corespunzător conturului (v. fig. 10.102, *b*). Se execută ma-

nual îndoirea capetelor şi prin formare se obţine în final teaca reprezentată în fig. 10.103.

În fig. 10.104 este arătat un rotor cu pachetul de tole (fabricat de Într. Electromotor-Timişoara) şi avînd tecile izolante introduse în crestături.

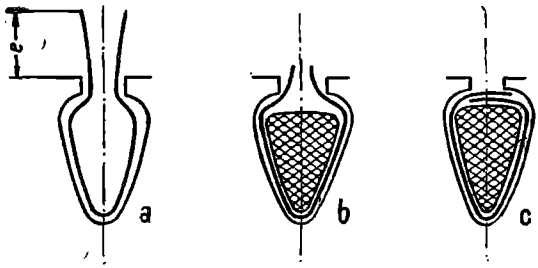


Fig. 10.101. Fazele confecţionării tecii izolante deschise :
a — la introducerea conductoarelor în crestătură; *b* — după introducerea conductoarelor; *c* — la închiderea crestăturii; (e=10 . . . 15 mm).

În cazul producţiei de serie mare, în întreprinderile constructoare de maşini electrice pentru confecţionarea ţevilor izolante ale crestăturilor se folosesc maşini automate.

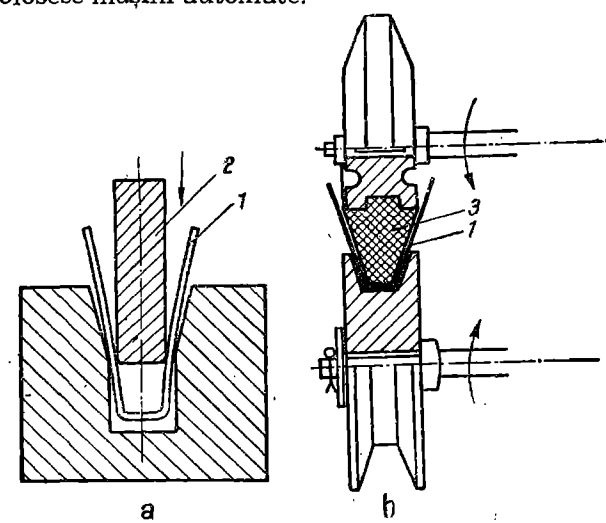


Fig. 10.102. Formarea tecii izolante deschise :
a — în matriţă; *b* — cu dispozitiv cu două role; *1* — teacă izolantă; *2* — poansonul matriţei; *3* — rolă cu bandaj din cauciuc tare.

După introducerea în crestătură, tecile izolante se calibrează după forma crestăturii cu ajutorul unei pene de lemn (de preferință mesteacăn sau plop de munte), al cărei profil are forma crestăturii (fig. 10.105).

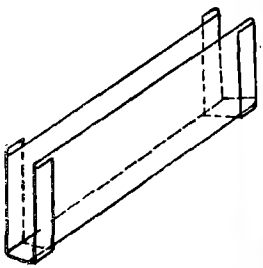


Fig. 10.103. Teacă izolantă deschisă complet formată, gata pentru introducerea în crestătură.

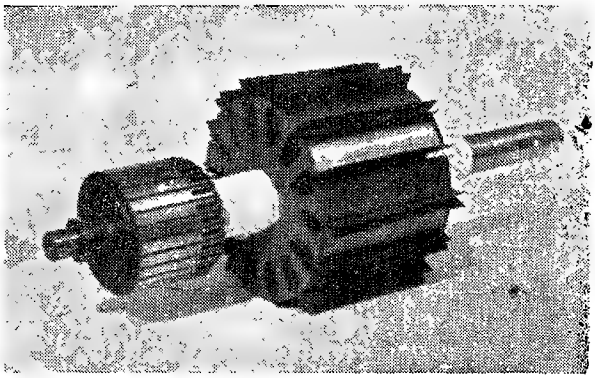


Fig. 10.104. Pachetul de tole rotoric cu tecile izolante introduse în crestături în vederea bobinării (Întrep. Electromotor — Timișoara).

În cazul rotoarelor motoarelor mici, se poate recurge la executarea completă a tecii direct pe miezul feromagnetic, cu ajutorul unui dispozitiv cu mișcare automată (v. fig. 10.106).

Teaca închisă se execută separat (la înfășurările realizate prin coasere).

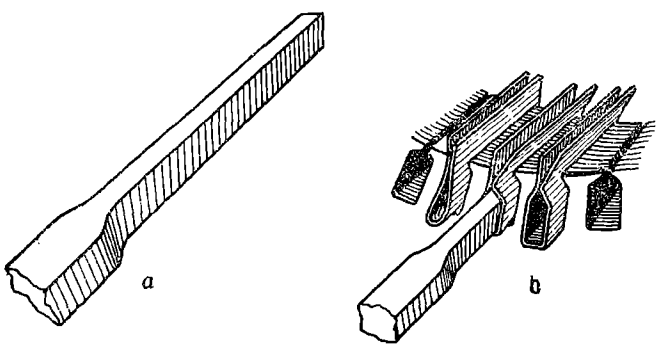


Fig. 10.105. Pană pentru formarea tecilor deschise în crestătură (*a*) și formarea tecilor în crestătură cu ajutorul penei (*b*).

La alegerea materialului pentru confecționarea tecilor închise, trebuie ținut seamă de valoarea tensiunii nominale și de clasa de izolație a înfășurării. Astfel, pentru înfășurări de joasă tensiune, tecile se confecționează din micanită flexibilă, micafolii sau preșpan.

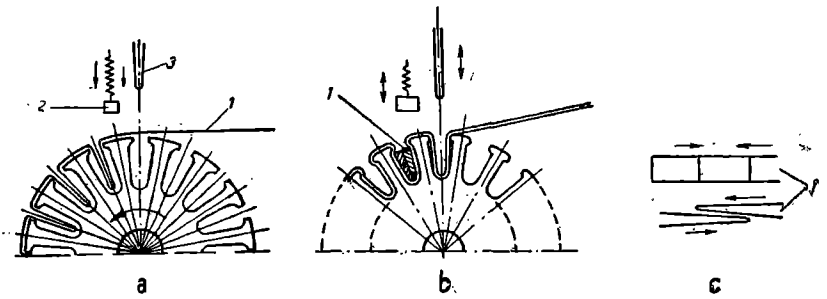


Fig. 10.106. Realizarea tecii izolante a crestăturii la rotoarele mașinilor electrice de putere mică :

a — introducerea materialului în crestătură; *b* — formarea tecii izolante; *c* — penele pentru formarea izolației (tecii izolante) crestăturii.

Dimensiunile tecilor se stabilesc conform dimensiunilor pachetului pe tole și ale crestăturii ; ele trebuie să depășească pachetul de tole în ambele părți, această depășire și grosimea tecilor fiind indicate în tabela 10.30.

Tabela 10.30

Dimensiunea conductorului (diametrul sau înălțimea) mm	r_0
Pînă la 8	3
8—12	4
12—15	5
Peste 15	6

Pentru obținerea unei forme similare crestăturii, la executarea tecilor se folosesc forme de presare și pene avînd profile speciale, așa cum sînt reprezentate în fig. 10.107, *a*, *b*, c. În toate cazurile, lungimea formelor de presare trebuie să fie mai mare decît cea a tecilor cu 35 ... 40 mm.

Procesul tehnologic de confecționare a tecilor continue constă din pregătirea materialului, rularea materialului și presarea în forme. Rularea materialului se face manual pe penele încălzite. Pe o placă de oțel plană, încălzită la 70 ... 100 °C se așază o foaie de preșpan avînd lățimea egală cu un contur al crestăturii. Preșpanul încălzit se rulează pe pene, lăsîndu-se o rezervă de lungime de 75 ... 100 mm pentru presare. Înainte de rulare, penele se ung cu săpun de micanită (parafină 21 părți, vaselină 6 părți, ulei mineral 3 părți, talc 24 părți). La o jumătate de rotație a preșpanului se începe rularea micafoliului (micafoliu sau micanită flexibilă), se unge cu lac de încleiere. La exterior, se adaugă un strat de preșpan. În stare caldă, tecile

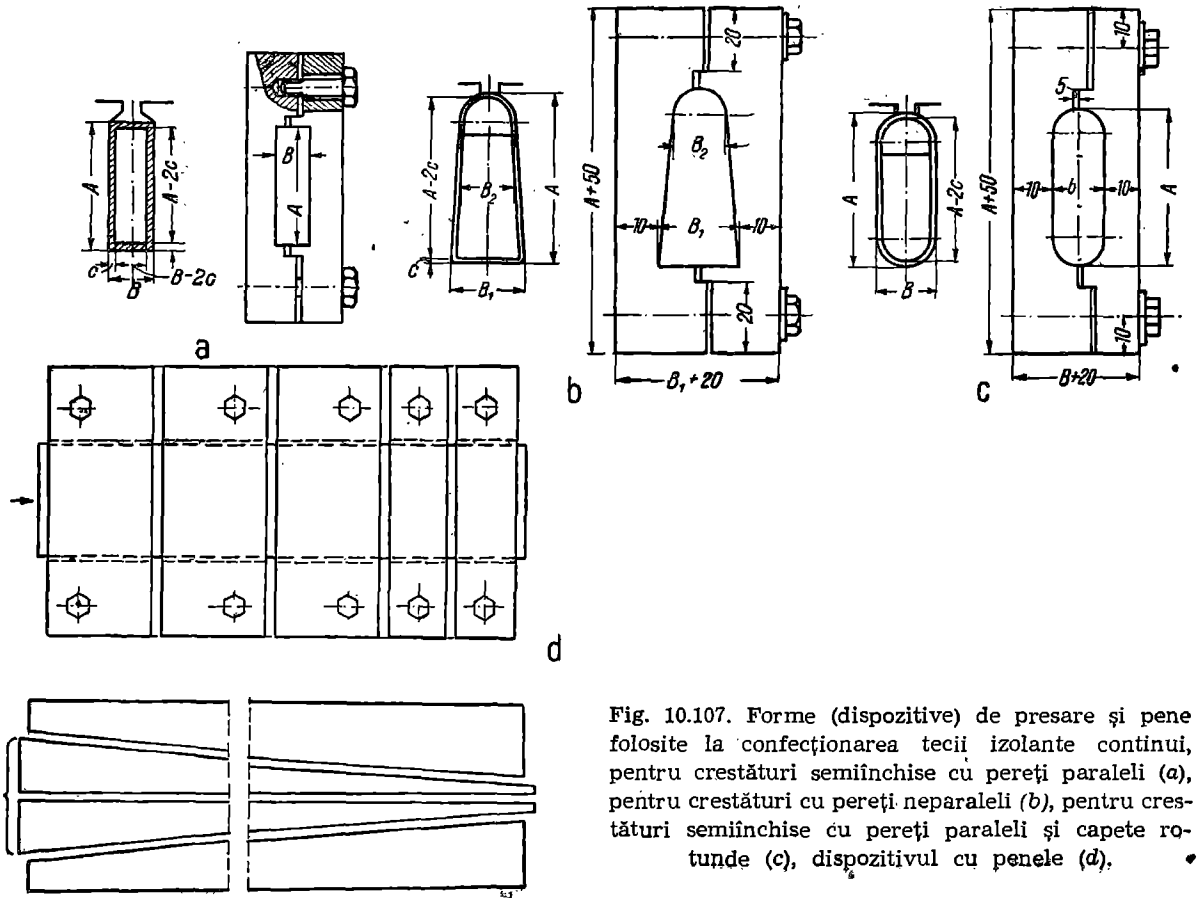


Fig. 10.107. Forme (dispozitive) de presare și pene folosite la confecționarea tecii izolante continui, pentru crestături semiînchise cu pereți paraleli (*a*), pentru crestături cu pereți neparaleli (*b*), pentru crestături semiînchise cu pereți paraleli și capete rotunde (*c*), dispozitivul cu penele (*d*).

rulate pe pene se introduc în presele încălzite de asemenea la 70 . . . 100 °C. După presare, teaca se lasă să se răcească în dispozitiv, evitîndu-se accelerarea răcirii care poate provoca umezirea tecii.

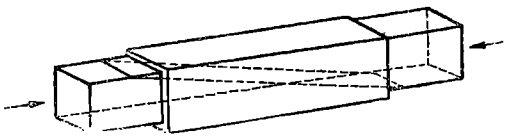


Fig. 10.108. Pene pentru calibrarea tecilor izolante continui.

După răcire se bat uşor penele cu un ciocan de cupru pentru a se scoate teaca din forma de presare.

Tecile izolante se păstrează în loc uscat şi la temperatură pînă la 20 °C. Dacă s-au deformat în timp, se procedează la o îndreptare pe presă, la cald. În cazul unor deformări mici, se poate adopta o simplă recalibrare a tecilor, folosindu-se două pene ca în reprezentarea din fig. 10.108.

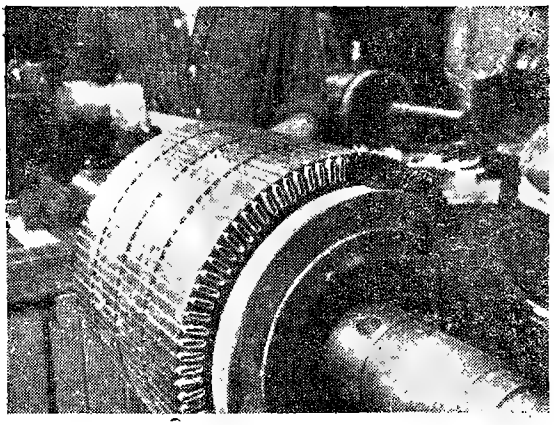


Fig. 10.109. Izolarea crestăturilor unui rotor al unui motor asincron trifazat de 100 kW, 1 000 rot/min, în vederea bobinării (la Uzina de Maşini Electrice Bucureşti).

Introducerea în crestături a tecilor închise moi se face în acelaşi mod, operaţia fiind însoţită de o calibrare cu ajutorul unei pene de lemn avînd profilul crestăturii. În fig. 10.109 este dată fotografia unui rotor cu crestăturile semiînchise şi cu teci din preşpan închise.

În cazul tecilor izolante tari, introducerea acestora se face manual, de pe o parte a miezului feromagnetic. La intrarea tecilor în crestătură, trebuie avut grijă ca tecile să nu se degradeze.

Izolarea suporturilor pentru capete de bobină

Modul de izolare al suportului capului de bobină se stabileşte în funcţie de forma constructivă a acestuia. Cînd suportul capului de bobină face corp comun cu butucul ventilatorului sau cu butucul

colectorului (v. fig. 10.110), pentru izolare se aplică materialul sub formă de foi. Pentru ca izolaţia să nu se deplaseze în timpul operaţiilor de bobinare, ca şi în funcţionarea ulterioară a maşinii, este necesar să se folosească un lac electroizolant de încleiere, cu uscarea în aer sau în cuptor.

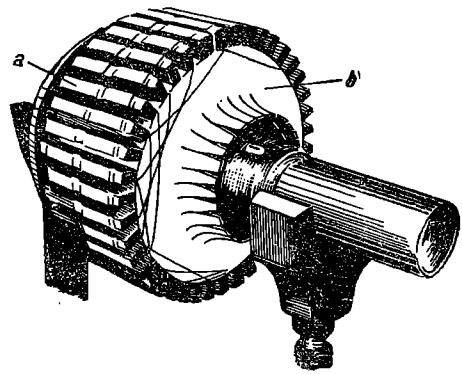


Fig. 10.110. Izolarea suportului capului de bobină la indusul unei maşini de curent continuu :
a — izolarea părţii dinspre colector; *b* — izolarea în partea opusă colectorului.

10.7.4. Introducerea bobinelor în crestături

Procedee de introducere a bobinelor în crestături

La introducerea bobinelor în crestături, operaţie care formează etapa principală a procesului tehnologic de bobinare a maşinilor electrice, se execută următoarele operaţii : introducerea conductelor în crestături, închiderea crestăturilor şi izolarea capetelor de bobină.

Dacă în trecut toate aceste operaţii se executau în general pe cale manuală, în ultima perioadă de timp s-au introdus în procesul de bobinare o serie de maşini sau dispozitive care înlocuiesc în bună parte operaţiile manuale. Aceste maşini şi dispozitive sînt denumite în general, *maşini de bobinat.* Cu maşinile de bobinat destinate executării înfăşurărilor direct în crestături, pentru statoarele şi rotoarele de putere mică şi în fabricaţia în serie mare, s-au obţinut rezultate bune, iar productivitatea muncii a crescut de 5—6 ori.

Legat de tipul bobinei, al conductorului şi de tipul crestăturii, principalele moduri de introducere a bobinelor în crestătură sînt :

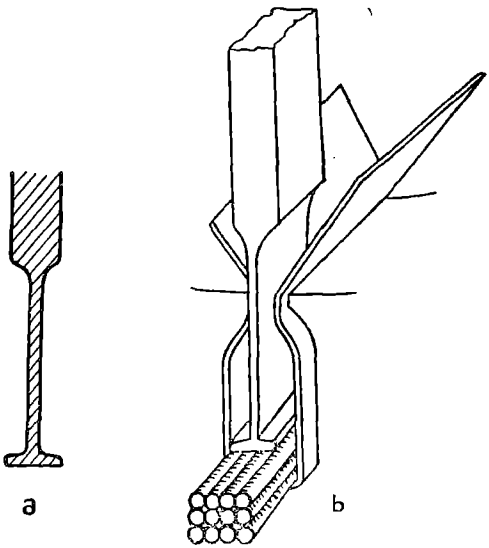
— introducerea radială, prin deschiderea crestăturii semiînchise, a bobinelor conductor cu conductor, procedeu întîlnit la înfăşurările realizate cu conductor rotund (sîrmă) ;

— introducerea radială prin deschiderea crestăturii semideschise sau deschise a mănunchiurilor sau a conductoarelor de secţiune dreptunghiulară ;

— introducerea axială în crestătură semiînchisă sau închisă, izolată cu teacă continuă a conductoarelor de secţiune circulară, procedeu cunoscut sub denumirea de *coasere* ;

— introducerea axială în crestătură semiînchisă sau închisă, izolată cu teacă continuă a conductoarelor de secţiune dreptunghiulară.

Bobinarea prin introducerea radială conductor cu conductor este foarte răspîndită și se practică de obicei în cazul înfășurărilor de joasă tensiune cu bobine moi așezate în crestături semiînchise. La introducerea radială conductor cu conductor, trebuie avut grijă ca așezarea acestora în crestătură să se facă pe cît posibil fără încrucișări, pentru a se evita bobinarea greoaie și apariția scurtcircuitelor între spire.



În timpul bobinării, după introducerea a 10—15 conductoare în crestătură este indicat să se preseze conductoarele cu o sculă specială denumită călcător (vezi fig. 10.111). Între conductoare și călcător se va introduce obligatoriu, o fîșie de preșpan groasă de 2 mm și lată cît crestătura sau o pană de lemn.

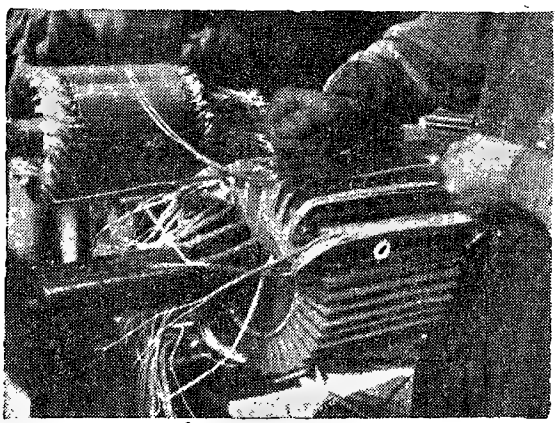


Fig. 10.111. Călcătorul (talpașul) :
a — profilul călcătorului (secțiune); *b*, *c* — operația de *călcare* a conductoarelor în crestătură.

Introducerea radială a mănunchiurilor sau conductoarelor de secțiune dreptunghiulară se practică în special la înfășurările de tip indus de curent continuu și la înfășurările din statoarele mașinilor sincrone și asincrone, crestăturile fiind semideschise sau deschise. În cazul crestăturilor semideschise trebuie ținut seamă de ordinea de introducere în crestătură a barelor.

Introducerea axială în crestătură semiînchi-

să sau închisă, conductor cu conductor, numită *coasere*, necesită folosirea unor vergele rotunde de oțel (ace) avînd diametrul egal cu diametrul conductorului de bobinaj izolat, sau pene de lemn (v. fig. 10.112). În teaca crestăturii se introduce un număr de vergele metalice egal cu numărul de conductoare, ce revin pe înălțimea unei crestături sau se recurge la un număr de vergele limitat, restul spațiului din crestătură fiind completat cu pene de lemn.

La bobinarea prin coasere, de o parte și de alta a mașinii care se bobinează, trebuie să se rezerve un spațiu liber suficient, conducto-

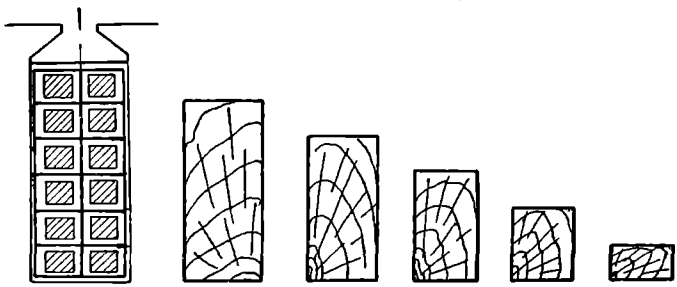


Fig. 10.112. Pene de lemn pentru executarea bobinării prin coasere (tragere).

rul formînd bucle mari. Lungimea conductorului se ia de obicei egală cu lungimea necesară executării unei grupe de bobine ; se evită în acest fel un număr mare de lipituri, mai ales la înfășurările cu număr mare de crestături pe pol și fază. După introducerea primei bobine (bobina de contur interior), pe partea ei frontală se așază garnituri de carton electrotehnic, care să asigure distanța necesară dintre capetele frontale ale bobinelor. Capetele bobinelor se izolează cu bandă albă separat, iar apoi împreună. Uneori se renunță complet la izolarea în părțile frontale, iar consolidarea bobinelor se face cu sfoară. Între grupele de bobine care aparțin diferitelor faze și care se suprapun, se introduc garnituri de preșpan pentru izolație.

Introducerea în crestături a înfășurărilor tip indus de curent continuu

Înfășurările tip indus de curent continuu se realizează în general cu bobine moi sau cu bobine semitari și numai la puteri mai mari sau la tensiuni mici și curenți mari cu bobine tari (monospiră, semispiră).

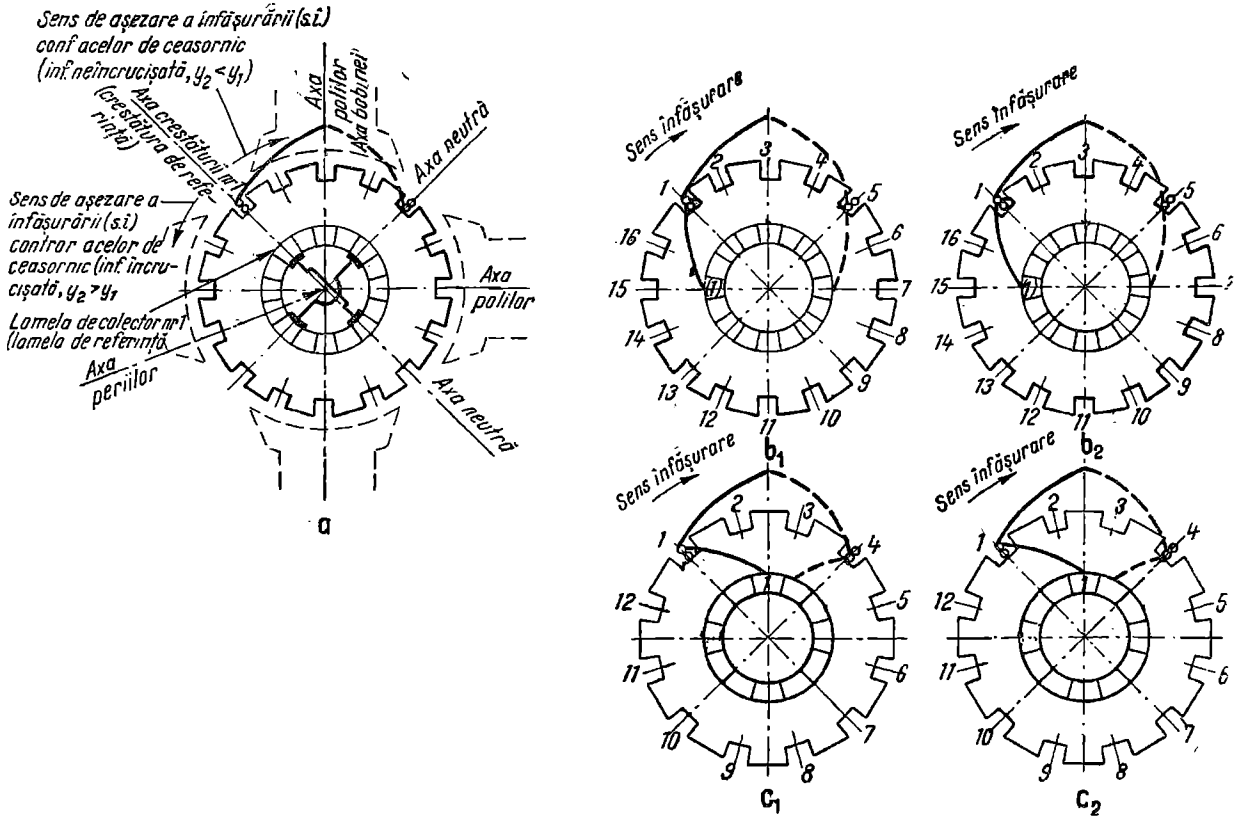

Sens de așezare a înfășurării (s.i.)
conf acelor de ceasornic
(inf. neîncrucișată, $y_2 < y_1$)
Axa crestăturilor (crestătura de referință)
Axa polilor (Axa bobinei)
Axa neutră
Sens de așezare a înfășurării (s.i.) contrar acelor de ceasornic (inf. încrucișată, $y_2 > y_1$)
Axa polilor
Lamela de colector nr. 1 (lamela de referință)
Axa periilor
Axa neutră
a
Sens înfășurare
b1
Sens înfășurare
b2
Sens înfășurare
c1
Sens înfășurare
c2

Fig. 10.113.

În ceea ce privește introducerea în crestături a acestor înfășurări, dată fiind marea varietate constructivă se folosesc toate cele patru metode de lucru arătate.

Înainte de introducerea primei bobine se execută marcarea crestăturilor și a lamelelor colectorului montat pe arbore, avîndu-se ca reper fie axa de simetrie a bobinei, fie axa primei crestături (crestătura nr. 1). În ambele cazuri trebuie avută în vedere poziția colectorului față de elementul luat ca reper, așa cum este arătat în fig. 10.113.

În acest scop, folosind ca reper crestătura *1* se notează lamela colectorului avînd numărul de ordine *1*, folosind schema frontală a bobinajului (fig. 10.114), după care se fixează, conform schemei desfășurate a înfășurării, sensul de înfășurare. În fig. 10.115 și 10.116 sînt arătate modurile de marcare, folosind ca reper axa crestăturii *1* pen-

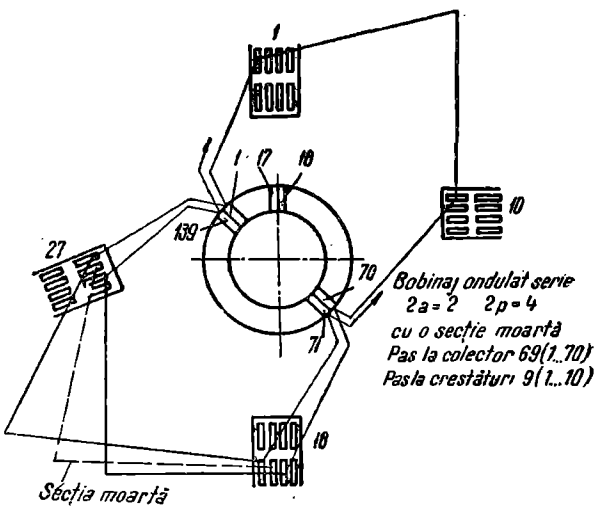


Fig. 10.114. Schema de legături frontale a înfășurării tip indus de curent continuu; marcarea primei crestături și a primei lamele a colectorului.

tru înfășurările buclate (fig. 10.115) și înfășurările ondulate (fig. 10.116). După aceste operații se poate trece la introducerea mănunchiului inferior. O dată cu introducerea laturilor inferioare în crestături, se trag la colector și capetele de legătură din stratul inferior al legăturilor la colector, legăturile din stratul superior fiind resfirate în evantai (fig. 10.117). Dacă bobinele sînt confecționate cu conductor subțire (bobine moi), conductoarele se introduc în crestătură radial, procedîndu-se la așezarea corectă a spirelor cu ajutorul călcătorului.

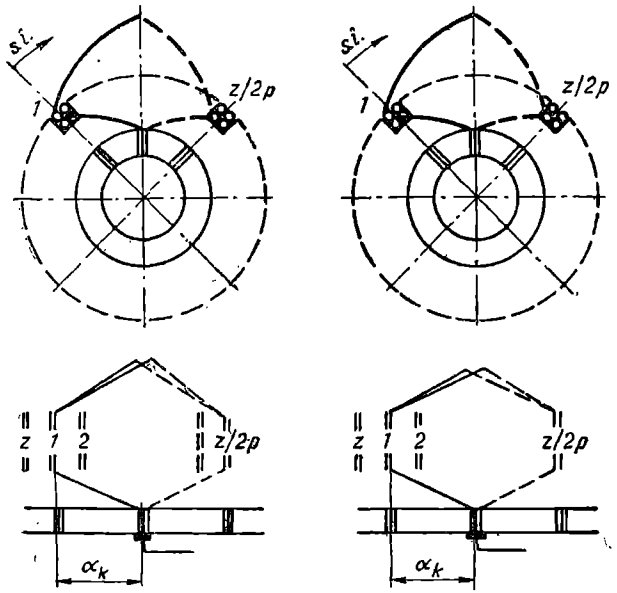


Fig. 10.115.

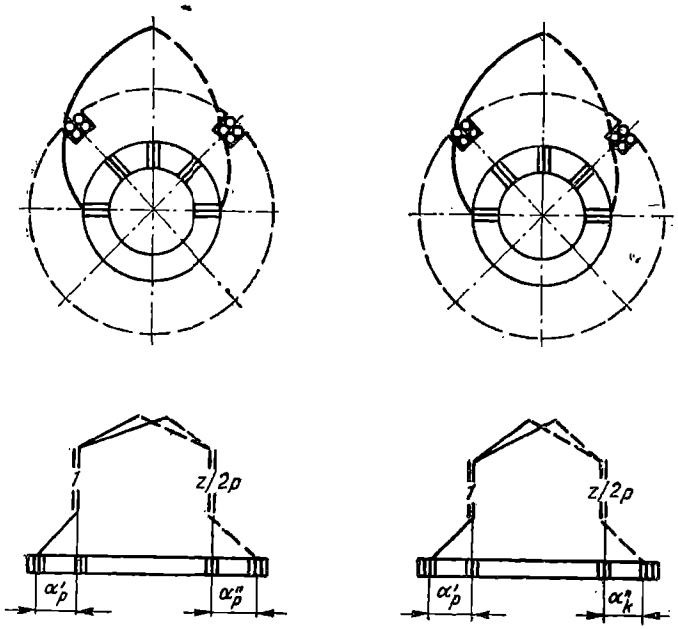


Fig. 10.116.

În cazul acestor bobine moi, scoaterea legăturilor la colector este importantă pentru realizarea unei așezări cît mai uniforme a conductoarelor. În fig. 10.118 s-au reprezentat scoaterea conductoarelor de legătură la colector corectă (*a*) și greșită (*b*). Distanțele *R* și *r* se

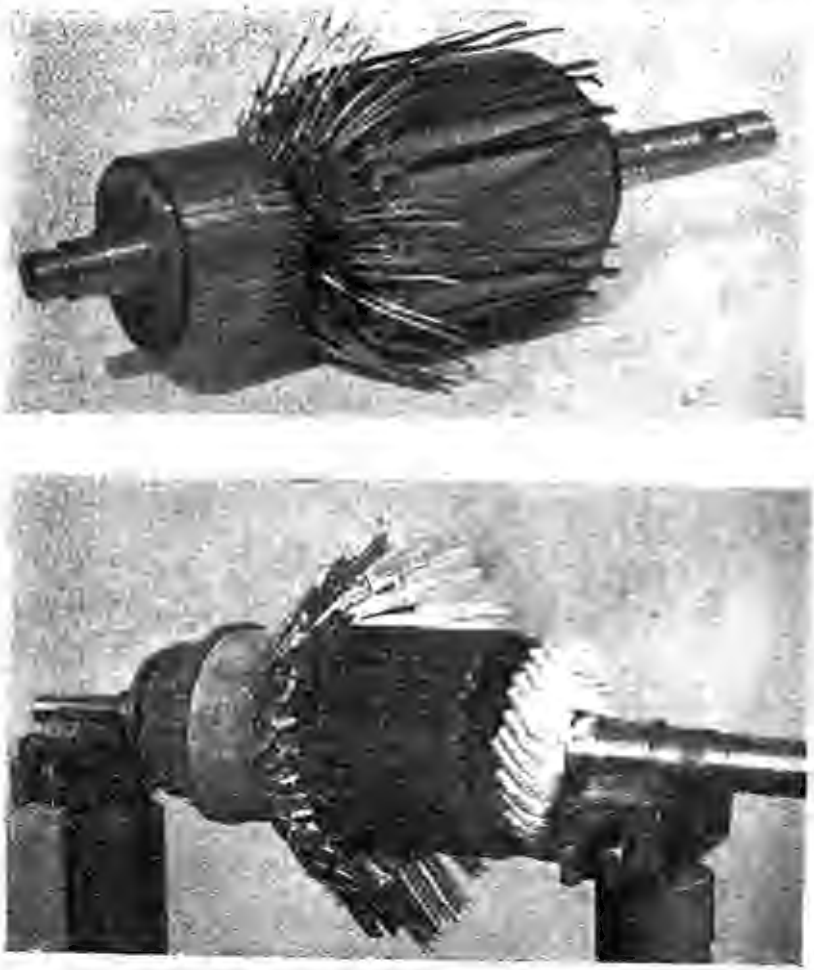


Fig. 10.117. Rotoare avînd înfășurarea tip indus de curent continuu introdusă în crestături :
a — înainte de tragerea stratului inferior de legături; *b* — după tragerea stratului inferior de legături la colector.

stabilesc de la caz la caz, în funcţie de diametrul rotorului şi pasul la colector al bobinelor introduse în crestături marcate.

O dată cu introducerea bobinelor, se introduc şi izolaţiile între mănunchiuri (în crestătură), la capetele de bobină şi între straturile de conductoare de legătură la colector. În fig. 10.119 se poate urmări modul de aşezare a izolaţiilor la cele două capete de bobine şi la legăturile la steguleţe. În acest exemplu, izolaţiile sînt realizate cu un material

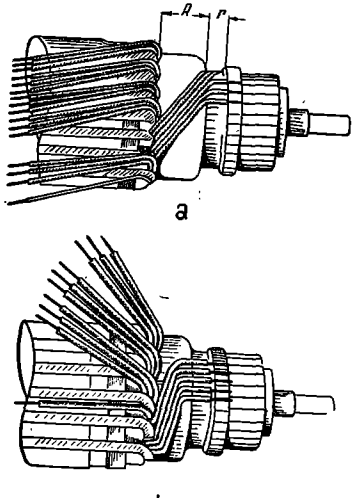


Fig. 10.118. Aşezarea capetelor de legături la colector:
a — corectă; *b* — greşită.

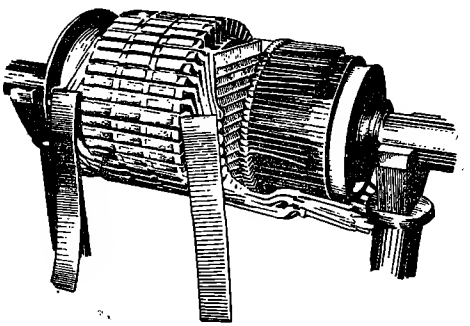


Fig. 10.119. Aplicarea izolaţiei la capul de bobină la înfăşurările tip indus de curent continuu.

electroizolant combinat (două straturi de ţesătură de sticlă lăcuită între care este interpus un strat de hîrtie de azbest).

După introducerea tuturor bobinelor în crestătură şi aducerea conductoarelor de legătură la colector, se execută închiderea cres-

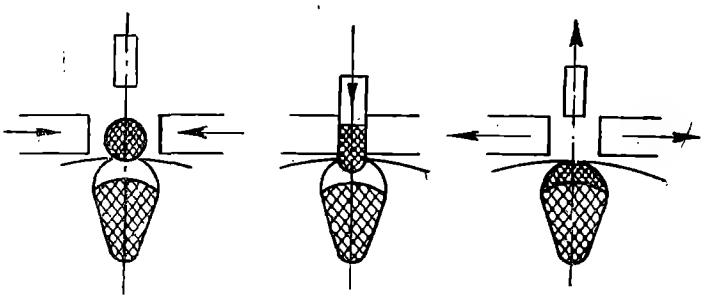


Fig. 10.120. Închiderea crestăturilor la motoarele electrice de mică putere, cu ajutorul unui şnur textil şi operaţiile de introducere şi aşezare a şnurului.

tăturii și anume se închide izolația crestăturii, se introduce izolația de sub pană, iar apoi pana. În cazul crestăturilor deschise care nu au prevăzute pene de închidere, se aplică deasupra tecii izolante o fășie de preșpan (izolație sub bandaj) și bandajul de consolidare. La rotoarele mașinilor electrice de mică putere, închiderea crestăturii poate fi făcută cu un șnur textil, așa cum este reprezentat în fig.10.120. După aceste operații, se execută încercările de control ale izolației față de masă și izolației între spire.

Executarea bobinării indusurilor mașinilor de curent continuu sau universale de mică putere

La rezolvarea înfășurării indusurilor mașinilor electrice de curent continuu de mică putere ca și la motoarele mici universale sau de curent alternativ cu colector, o dată cu introducerea în crestătură se realizează practic și bobinele înfășurării, conductorul fiind de secțiune mică (circular). Dat fiind numărul mare de spire în general la aceste înfășurări ca și numărul mare de astfel de mașini în fabricație și respectiv în exploatare, realizarea înfășurării se face cu dispozitive și mașini de bobinat.

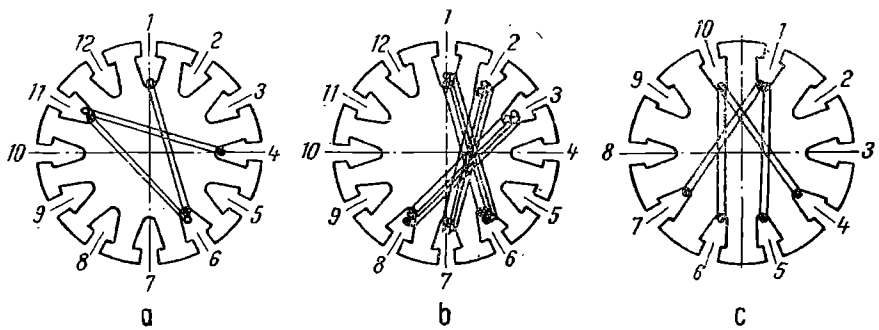


Fig. 10.121.

În fig. 10.121 sînt reprezentate posibilitățile de realizare a acestor tipuri de înfășurări, respectiv, în straturi multiple succesive (bobinare succesivă), în straturi alternate și coroane multiple (bobinare consecutivă), în straturi multiple și coroană de grupe de bobine (bobinare simultană) și înfășurare în stea și dublă coardă.

În funcție de diametrul indusului care se bobinează, de conductorul folosit și de datele înfășurării de realizat, se folosesc în executarea acestor înfășurări patru tipuri de mașini de bobinat:

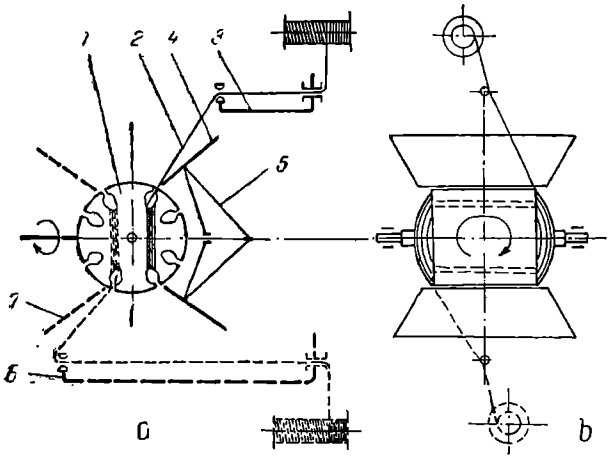


Fig. 10.122. Schema cinematică a mașinii de bobinat automată pentru rotoarele motoarelor de mică putere, cu mișcare de rotație a rotorului ce se bobinează :

1 — indusul; *2* — conductorul de bobinaj; *3* — brațul de ghidaj al conductorului; *4* — aripi de ghidaj pentru introducerea conductorului în crestătură; *5* — dispozitiv pentru poziționarea aripilor de ghidaj *4*; *6* — braț suplimentar; *7* — aripi de ghidaj suplimentare, fixe.

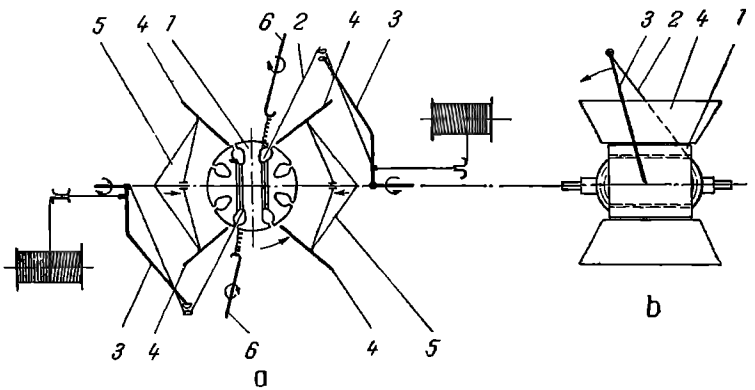


Fig. 10.123. Schema cinematică a mașinii de bobinat automată pentru rotoarele mașinilor mici, mașină cu braț rotitor, rotorul fiind fix (după Micafil) :

1 — indusul; *2* — conductorul de bobinaj; *3* — brațul rotitor; *4* — aripi de ghidaj pentru introducerea conductorului în crestătură; *5* — dispozitiv pentru poziționarea aripilor de ghidaj; *6* — braț pentru consolidarea bobinelor.

— mașină de bobinat cu rotirea indusului în jurul unei axe perpendiculară pe axa arborelui, spirele fiind introduse în crestătură cu ajutorul aripioarelor de ghidaj (fig. 10.122) ;

— mașină de bobinat cu rotorul fix la care spirele se introduc în crestătură cu ajutorul unui braț ce se rotește în jurul indusului (fig. 10.123) ;

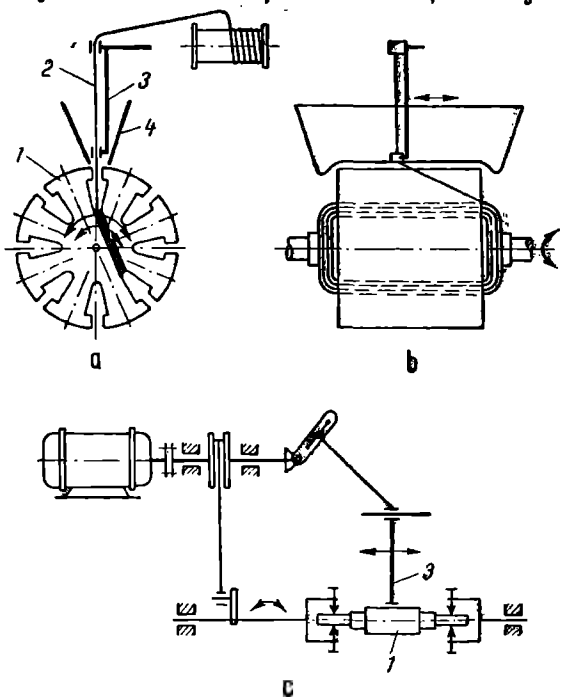


Fig. 10.124. Principiul de funcționare (*a*, *b*) și schema cinematică (*c*) a mașinii automate de bobinat rotoarele motoarelor de putere mică, cu suveică și cu mișcare alternată a indusului :

1 — indusul; *2* — conductorul de bobinat; *3* — suveica cu mișcare alternativă; *4* — aripi de ghidaj pentru introducerea conductorului în crestătură.

— mașină de bobinat cu suveică ; la această mașină suveica și conductorul avînd o mișcare rectilinie alternativă de-a lungul crestăturii, iar indusul o mișcare de rotație alternativă cu cursa egală cu deschiderea bobinei, această din urmă mișcare făcîndu-se alternat după fiecare cursă a suveicii (fig. 10.124) ;

— mașină de bobinat cu mișcări combinate ale indusului, aceasta executînd atît mișcarea rectilinie alternativă cît și mișcarea de rotire alternativă.

Introducerea în crestătură a înfășurărilor de curent alternativ

La introducerea în crestături a bobinelor înfășurărilor de curent alternativ, trebuie ținut seamă de tipul constructiv al acesteia și de datele de bobinaj, urmărindu-se și dispunerea corectă a capetelor de bobină.

În cazul înfășurărilor într-un singur strat cu bobine concentrice cu capetele de bobină dispuse în etaje, este indicat să se introducă

Fig. 10.125. Introducerea în crestături a unei înfășurări trifazate într-un singur strat, cu grupe de bobine trice și cu capetele de bobine dispuse în două etaje.

succesiv în crestături bobinele ale căror capete sînt așezate în același etaj ; dacă capetele de bobină sînt dispuse în două etaje, se introduc mai întîi bobinele pentru etajul inferior, acestea aparținînd la toate cele trei înfășurări de fază (v. fig. 10.125), în timp ce atunci

cînd capetele de bobină sînt dispuse în trei etaje, se introduc numai bobinele ale căror capete se dispun în același etaj aparțin unei singure faze.

În cazul înfășurărilor într-un strat cu capetele de bobine dispuse în coroană de grupe de bobine concentrice, se introduc în crestături la prima grupă de bobine numai laturile de întoarcere. În ordine apoi se dispun toate grupele de bobine, introducîndu-se în crestături și laturile de ducere și laturile de întoarcere. Capetele grupelor de bobine succesive în ordinea bobinării se dispun între ele în coroană. Coroana se închide după ce se introduc și ultimele laturi de bobine (laturile de ducere a primei grupe).

La înfășurările într-un strat, cu bobine egale, avînd capetele dispuse în coroană, se introduc la început în crestături numai laturile de întoarcere a bobinelor care revin unui pas polar. În același sens de bobinare se introduce apoi complet restul bobinelor. Laturile de ducere a bobinelor de pe primul pas polar se introduc ultimele în crestături, capetele acestora închizînd coroana.

În cazul înfășurărilor în două straturi, cu capetele de bobine dispuse în coroană de grupe de bobine concentrice sau în coroană de bobine egale, bobinarea se face la fel (v. fig. 10.126). Se introduc la început, în crestături, laturile de întoarcere a bobinelor care revin primului pas polar. Apoi se introduc complet restul bobinelor în ordine succesivă. La urmă se așază în crestături laturile de ducere a grupelor de bobine, respectiv a bobinelor cu ale căror laturi de întoarcere s-a început bobinarea.

Atît la înfășurările într-un strat, cît și la cele în două straturi, cu capetele bobinelor dispuse în coroană, numărul laturilor de bobine care se introduc ultimele în crestături (în cazul formării unei coroane simetrice) este cu atît mai redus cu cît pasul bobinelor este mai mic. Coroana formată din capetele bobinelor nu apare simetrică dacă laturile de ducere ale primelor bobine nu se introduc ultimele în crestături.

La înfășurările în două straturi, se prevede uneori izolație între straturi în zona capului de bobine, (v. fig. 10.127).

În cazul înfășurărilor în două straturi cu conductor profilat, se procedează la introducerea tuturor barelor din stratul inferior ; după așezarea izolației între bare (între mănunchiuri) se introduc barele din stratul superior al crestăturii. De reținut că în cazul rotoarelor se introduc mai întîi barele cu legătura de întoarcere. Forme consecutive de bare cu legătură de întoarcere sînt reprezentate în fig. 10.128.

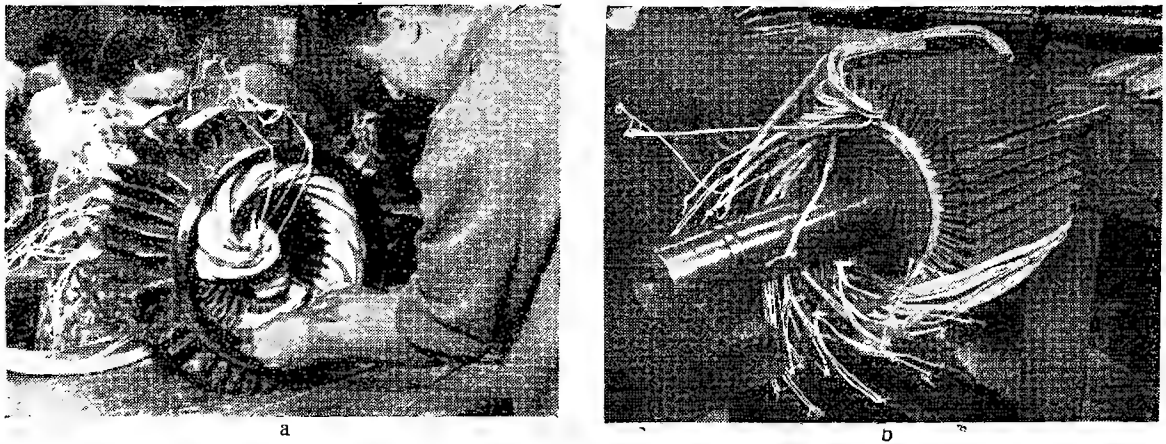


Fig. 10.126. Introducerea în crestături a bobinelor înfășurărilor de curent alternativ, în două straturi, cu bobine egale, cu capetele de bobine dispuse în coroană de bobine:
a — înfășurare statorică; *b* — înfășurare rotorică.

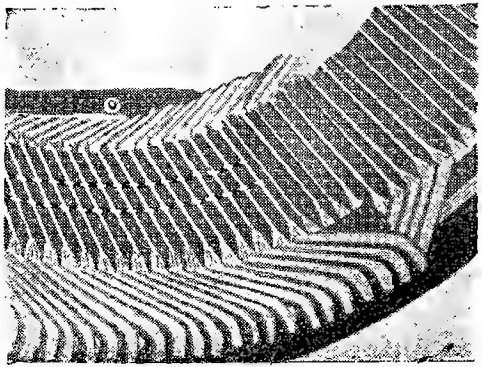
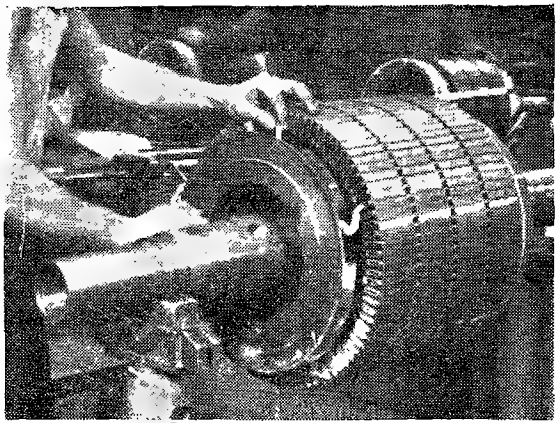
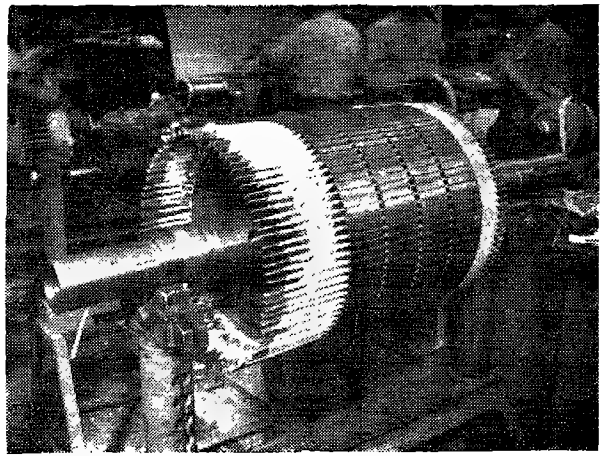


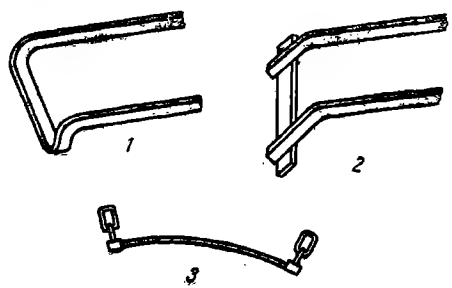
Fig. 10.127. Izolația între straturi în zona capului de bobine la o înfășurare de curent alternativ în două straturi.



b



c



a

Fig. 10.128. Legăturile de întoarcere. Forme constructive *(a)*, introducerea lor în crestături *(b)* și introducerea înfășurării rotorice *(c)*:

1 — legătură de întoarcere continuă (furcă); 2 — legătură de întoarcere lipită; 3 — legătură de întoarcere cu steguleţe.

Pentru realizarea înfășurărilor statoarelor mașinilor de curent alternativ de putere mică, dat fiind numărul mare al seriilor de fabricație, în întreprinderile producătoare s-au introdus în ultimii ani în măsură din ce în ce mai mare mașini automate sau semi-automate pentru bobinat.

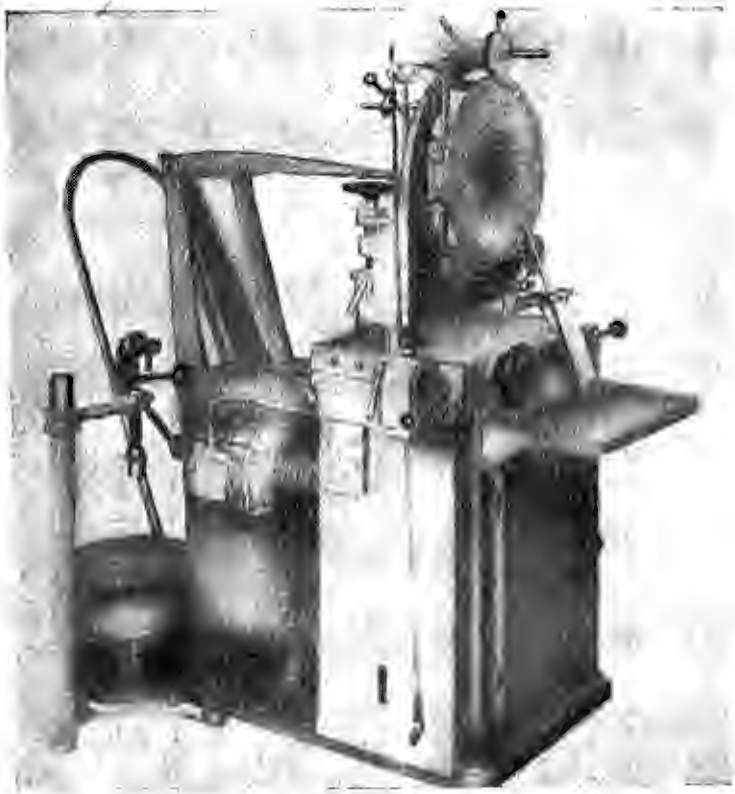


Fig. 10.129. Mașini de bobinat statoare, cu dispozitiv de ghidare șablon.

Se disting patru categorii de mașini de bobinat statoare :

— mașini de bobinat la care suveica realizează o mișcare de reproducere a conturului spirei (mișcare combinată), lucrînd deci prin înfiruire ;

— mașină de bobinat la care suveica realizează o mișcare rectilinie alternativă, iar statorul o mișcare circulară alternativă, lucrînd de asemenea prin înfiruire ;

— mașină de bobinat cu dispozitiv de ghidare șablon, care permite introducerea în crestătură a bobinelor spiră cu spiră (fig. 10.129);

— mașină de bobinat la care bobinele se introduc radial în crestătură de pe șablonul pe care ele sînt confecționate, acestea avînd o utilizare specializată.

10.8. EXECUTAREA LEGĂTURILOR ȘI CONEXIUNILOR ÎNFĂȘURĂRILOR

10.8.1. Executarea legăturilor la colectorul mașinilor de curent continuu

După tragerea capetelor de legătură la colectoare și introducerea acestora în steguleţe după o prealabilă curăţire a conductorului, este necesară executarea operației de lipire a acestora la colector.

În timpul lipirii trebuie să se evite arderea izolației conductoarelor de legătură sau depuneri de cositor în spatele steguleţelor, sub conductoarele de legătură (care ar provoca scurtcircuit între lamelele de colector). În acest scop se iau următoarele măsuri:

— se izolează suplimentar capetele de legătură prin bandajări cu bandă de azbest;

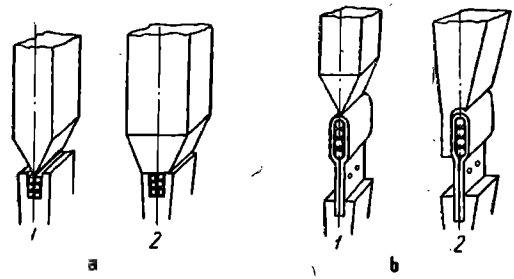


Fig. 10.130. Forme de ciocane de lipit pentru executarea legăturilor la colector:
a — pentru lipituri directe la lamele; *b* — pentru lipituri la steguleţe; *1* — forme necorespunzătoare; *2* — forme corespunzătoare.

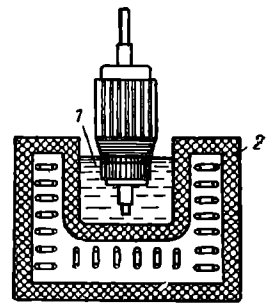


Fig. 10.131. Executarea lipiturii la colector în baie de cositor:
1 — cositor; *2* — elemente de încălzire (rezistență electrică).

— se folosesc ciocane de lipit de formă adecvată profilului steguleţului (v. fig. 10.130);

— tot timpul lipirii rotorul este menținut înclinat.

Un mijloc mai productiv de realizare a lipiturilor la colector este reprezentat în fig. 10.131, colectorul cufundîndu-se într-o baie de cositor topit pînă la nivelul steguleţelor. Pentru a feri colectorul și

arborele rotorului de depuneri de cositor, se îmbracă aceste părți cu un strat de glucoză, care se înlătură după cositorire.

În atelierele de reparații și în general pentru executarea legăturilor la colectoarele mașinilor de curent continuu de putere mică, se poate folosi schema prezentată în fig. 10.132. Tensiunea secundară a

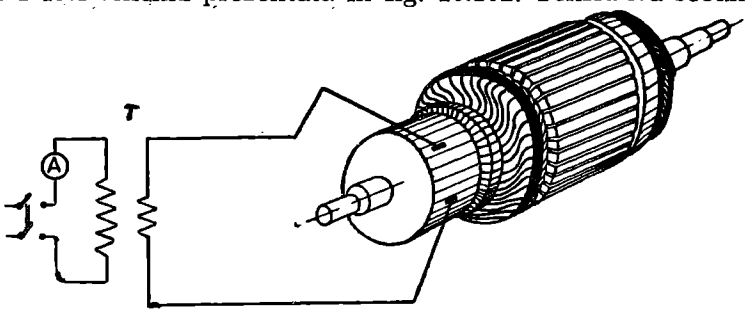


Fig. 10.132. Schema montajului pentru lipirea legăturilor la colector cu ajutorul transformatorului de joasă tensiune *T*.

unui transformator (*T*) de tensiune mică și curent mare se aplică unei porțiuni din înfășurarea indusului la care urmează să se execute lipiturile ; apoi prin deplasarea electrozilor pe lamele se alimentează alte porțiuni. Datorită încălzirii locale în punctele de contact imperfecte dintre conductoarele de legătură și steguleţe, acestea se încălzesc și prin topirea cositorului atît de pe capetele conductoarelor de legătură cît și de pe suprafața steguleţelor, se realizează lipirea dintre conductor și steguleţ.

10.8.2. Executarea legăturilor și conexiunilor înfășurărilor de curent alternativ

Legăturile între bobinele aparținînd aceleiași faze

Felul în care se leagă între ele grupele de bobine, respectiv bobinele aparținînd aceleiași faze, depinde de tipul de înfășurare (vezi cap. 5). Astfel în cazul înfășurărilor într-un strat cu capetele de bobine dispuse în două etaje grupele de bobine se leagă între ele sfîrșit cu început, sfîrșit cu început ș.a.m.d.

Această ordine de legare se păstrează pentru toate înfășurările într-un strat și în două etaje care au pe fază p grupe de bobine (p fiind numărul perechilor de poli). În acest caz grupele de bobine succesive care aparțin acelorași faze sînt decalate între ele cu 2τ. La aceste

înfășurări, numărul de legături care se fac între grupele de bobine va fi egal cu p—1, în ipoteza că pe fază există o singură cale de curent. În cazul că înfășurarea se realizează cu a căi de curent în paralel pe fază, numărul de legături pe calea de curent va fi egal cu $\frac{p-a}{a}$ (v. schemele din cap. 5).

Aceeași ordine de legare a grupelor de bobine pe fază și același număr de legături se păstrează și în cazul înfășurărilor într-un strat, în coroană de grupe de bobine concentrice, dacă înfășurarea fiecărei faze este compusă din p grupe de bobine (v. cap. 5).

Cînd înfășurările într-un strat în două etaje sau în coroană de grupe de bobine concentrice au mai mult de p grupe de bobine pe fază, legăturile dintre grupele de bobine care sînt decalate între ele cu τ fac sfîrșit cu sfîrșit, început cu început, iar între cele decalate cu 2τ, sfîrșit cu început, sfîrșit cu început etc.

La înfășurările bipolare în trei etaje revin pe fiecare fază două semigrupe de bobine, adică două grupe avînd fiecare $q/2$ bobine. În cazul acestor înfășurări, semigrupele fiind decalate între ele cu τ, se leagă sfîrșit cu sfîrșit. La înfășurările bipolare în trei etaje se scot la placa de borne fie începuturile celor șase semigrupe de bobine, fie sfîrșiturile lor.

Pentru înfășurările în trei etaje cu 4 sau mai mulți poli, cele $2p$ grupe de bobine care revin unei faze se leagă între ele alternat, sfîrșit cu sfîrșit, început cu început ș.a.m.d. La aceste înfășurări, numărul de legături între grupele de bobine pe fiecare fază va fi $2p$—1 pentrau $a=1$. Dacă $a>1$, atunci numărul de legături dintre grupele de bobine pe fiecare cale de curent va fi $\frac{2p-a}{a}$.

În cazul înfășurărilor în două straturi, legăturile între grupele de bobine care aparțin aceleiași faze se fac alternat sfîrșit cu sfîrșit, început cu început ș.a.m.d., dacă fiecărei faze îi revin $2p$ grupe de bobine. Pentru $a=1$, se fac pe fiecare fază $2p$—1 legături, iar pentru $a>1$ se fac pe fiecare cale de curent $\frac{2p-a}{a}$ legături.

Pentru înfășurările în două straturi cu extinderea totală a zonelor, numărul de grupe de bobine care aparțin fiecărei faze este egal cu p. La acestea, legăturile între grupele de bobine se fac sfîrșit cu început, sfîrșit cu început ș.a.m.d. La înfășurările cu extinderea totală a zonelor (v. cap. 5), numărul de legături pe fază, respectiv pe calea de curent, se stabilește cu relațiile :

$$p\text{—}1, \text{ respectiv } \frac{p-1}{a}.$$

În cele de mai sus s-a presupus că în toate grupele bobinele au fost înseriate între ele la preformare.

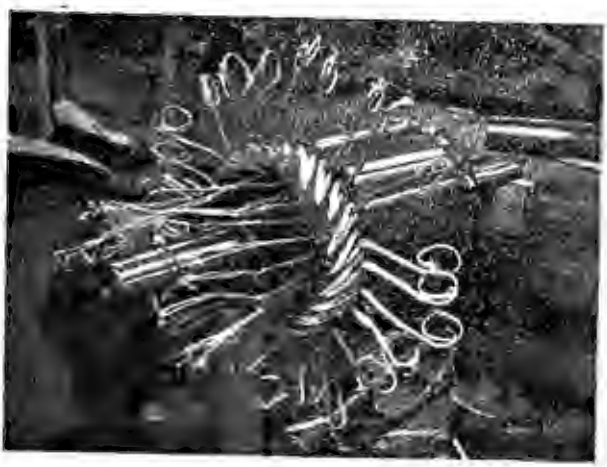


Fig. 10.133. Înfășurări de curent alternativ gata pentru executarea legăturilor :
a — înfășurare statorică; *b* — înfășurare rotorică.

În fig. 10.133 este reprezentat statorul unui motor asincron avînd capetele grupelor de bobine pregătite pentru executarea conexiunilor.

Conexiunile între bobinele aceleiași faze se pot realiza fie prin lipire, fie prin sudare electrică.

În fig. 10.134 se arată executarea prin sudare electrică a legăturilor înfășurării unui stator de mașină asincronă. Pentru sudare, firele se răsucesc între ele. Între doi electrozi de cărbune legați la secundarul unui transformator se provoacă arcul electric, care topește conductoarele, realizînd o sudură locală între acestea.

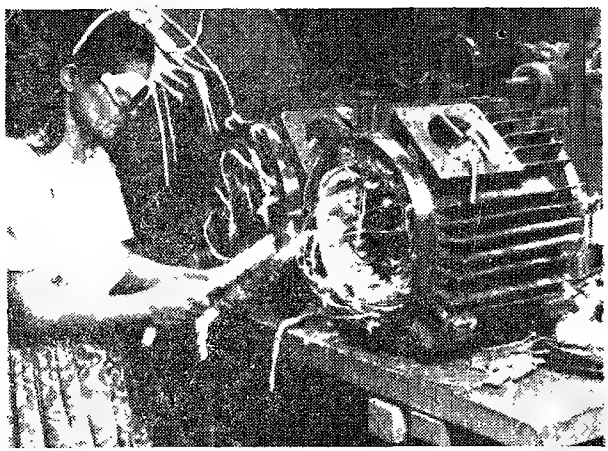


Fig. 10.134. Executarea conexiunilor între bobine prin sudare electrică, la înfășurare de curent alternativ realizată cu conductor rotund.

Legăturile între grupele de bobine sau între căile în paralel trebuie executate cu conductoare de secțiune corespunzătoare curentului total care circulă prin acestea.

În cazul înfășurărilor executate din semispire (din bare) legăturile între bare se execută prin sudare (cu cupru sau aliaj de cupru-argint) sau lipire cu cositor prin intermediul unei mufe de legătură (fig. 10.135).

Înainte de introducerea mufelor de legătură este necesar să se execute o operație de retezare (de tundere) a capetelor barelor pentru a le aduce în același plan, așa cum este reprezentat în fig. 10.136, *a*. Pentru asigurarea unei bune lipiri a mufelor, capetele de bară se recositoresc dacă prin tundere porțiunea cositorită a barei a fost înlăturată, cositorindu-se de asemenea și mufele. După aceste operații se poate proceda la aplicarea mufelor de legătură, așa cum este reprezentat în fig. 10.136, *b*.

Lipirea mufelor se face de regulă cu ajutorul ciocanului de lipit avînd o formă adecvată a capului. Se consideră că ciocanul de lipit

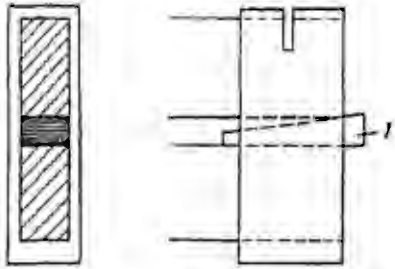
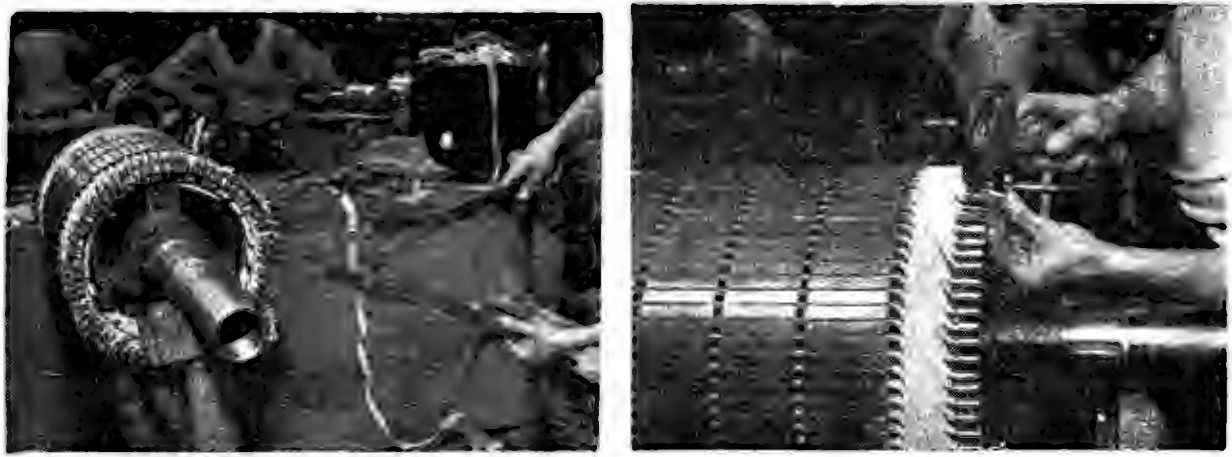


Fig. 10.135. Construcția mufei pentru legătura între bare la înfășurări în două straturi :
1 — pană.



a b

Fig. 10.136. Executarea legăturilor înfășurărilor de curent alternativ cu conductor dreptunghiular, prin mufe de legătură :
a — tunderea capetelor barelor; *b* — aplicarea mufelor de legătură.

corespunde utilizării atunci cînd forma capului permite realizarea unui contact pe o suprafață cît mai mare, pentru ca încălzirea mufei și capului de legătură să se facă cît mai repede și mai uniform (fără supraîncălzire locală). În vederea protejării izolației barelor de eventualele determinări (arderi) în timpul lipirii mufelor, se recomandă izolarea acestora în zona imediat apropiată de mufa cu bandă de azbest sau eventual bandă de sticlă.

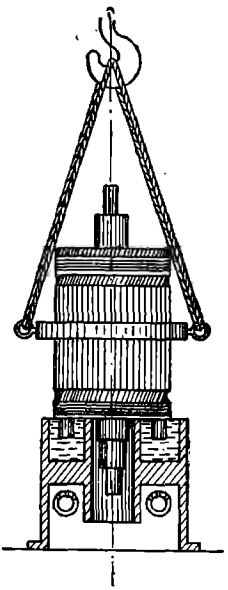


Fig. 10.137. Executarea lipiturilor în baia de cositor la rotorul unui motor asincron, avînd înfășurarea executată cu bare.

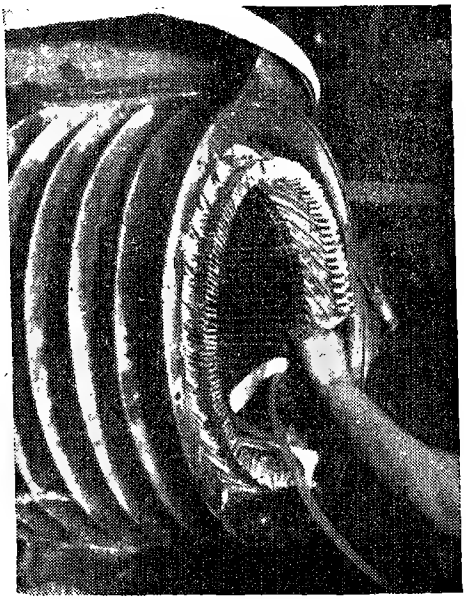


Fig. 10.138. Izolarea mufelor de legătură la o înfășurare de curent alternativ în două straturi, în bare, la statorul unui motor asincron.

În cadrul atelierelor de bobinaj, lipirea mufelor la capetele de bobină se face prin introducerea înfășurării (numai în zona mufelor de legătură) într-o baie cu cositor în stare topită, așa cum este reprezentat în fig. 10.137.

Metoda aceasta de lucru este foarte productivă, toate lipiturile făcîndu-se simultan. Se poate aplica la o gamă mai mare de piese (statoare și rotoare).

După realizarea lipiturilor la mufe, se procedează la izolarea acestora cu materiale electroizolante sub formă de bandă, așa cum este reprezentat în fig. 10.138.

Conexiunile fazelor

Pentru obținerea schemei de conexiune a înfășurării unei armături statorice sau rotorice, este necesară realizarea conexiunilor fazelor direct în înfășurare sau la placa de borne a mașinii.

Conectarea înfășurărilor fazelor direct în bobinaj se face în cazul mașinilor mici (în stator), la rotoarele motoarelor asincrone și la generatoarele sincrone de mare putere. Legăturile se execută (corespunzător intensității curentului și tensiunii nominale) prin cabluri de legătură, sau printr-o bară de formă specială, similară celei reprezentate în fig. 10.139. Aceste bare sînt prevăzute cu mufe de legătură.

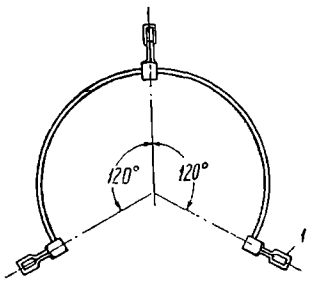


Fig. 10.139. Bară pentru realizarea conexiunilor înfășurărilor fazelor unui rotor de motor asincron trifazat:
1 — mufă de legătură.

10.9. CONSOLIDAREA ÎNFĂȘURĂRILOR

10.9.1. Sistemele de consolidare a înfășurărilor

Consolidarea înfășurărilor față de miezul feromagnetic se face în scopul de a asigura preluarea eforturilor mecanice care apar datorită forțelor centrifuge (la rotoare), a forțelor datorite vibrațiilor și a forțelor electrodinamice ce se produc în cazul scurtcircuitelor.

Consolidarea înfășurărilor tip indus de curent continuu se realizează prin bandaje de consolidare aplicate în zona crestăturilor, a capetelor de bobină și a legăturilor la colector, așa cum este reprezentat în fig. 10.140.

Consolidarea porțiunii de înfășurare așezată în crestături se realizează încă în timpul bobinării propriu-zise, prin așezarea corectă a mănunchiurilor și a izolațiilor în crestături, prin închiderea crestăturii cu ajutorul penei și în fine prin impregnare.

În cazul înfășurărilor dispuse în crestături deschise și fără pană de închidere a crestăturii, consolidarea se face numai cu ajutorul bandajelor aplicate pe suprafața exterioară a rotorului.

Consolidarea capetelor de bobină și a legăturilor la colector se realizează prin bandajare, astfel încît ansamblul să fie bine strîns și totodată să formeze coroane coaxiale cu arborele rotorului. La rotoarele mașinilor de putere mică se recurge de multe ori la consolidare cu sfoară, așa cum este reprezentat în fig. 10.141.

Consolidarea legăturilor la colector se face prin aplicarea unui bandaj din sfoară, șnur sau bandă. Prin impregnarea bandajului aplicat strîns și bine legat, se obține o bună rigidizare a acestuia.

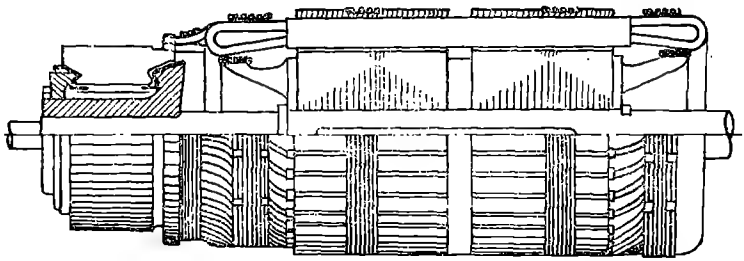


Fig. 10.140. Consolidarea cu bandaje a unei înfășurări tip indus de curent continuu.

Consolidarea înfășurărilor din statorul mașinilor de curent alternativ constă în general din solidarizarea capetelor bobinelor unele în raport cu altele și împreună față de miezul magnetic sau carcasă (la mașini de putere mare). Se disting : consolidare prin bandajare, consolidare prin inele și consolidare prin distanțoare.

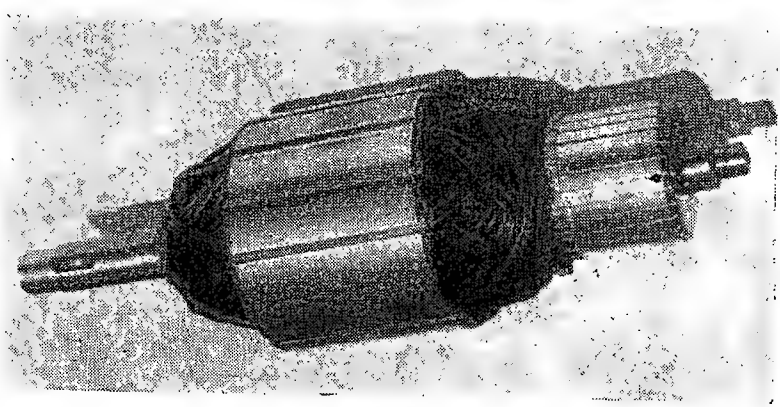
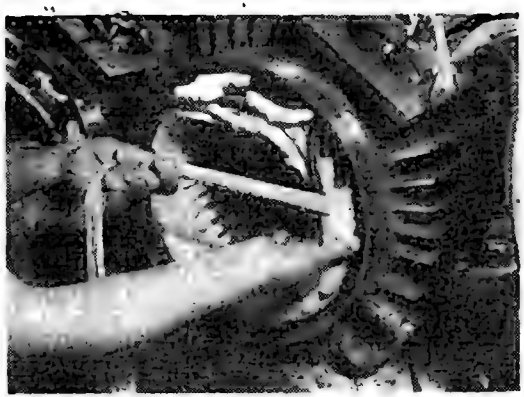
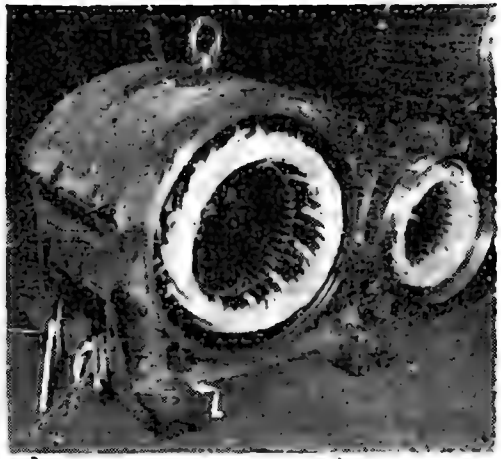


Fig. 10.141. Înfășurare tip indus de curent continuu avînd capetele de bobină consolidate prin legături cu sfoară (la mașini de putere mică).

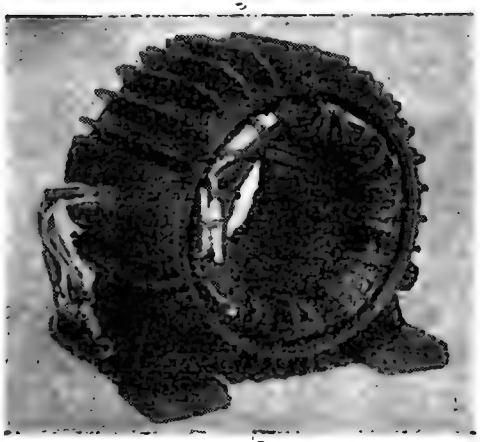
Consolidarea prin bandajare se realizează cu sfoară sau benzi textile, legîndu-se strîns capetele de bobină între ele. Sistemul se folosește în construcția mașinilor asincrone de joasă tensiune și de puteri



a



b



c

Fig. 10.142. Consolidarea capetelor de bobină cu bandă textilă așezată spiră lîngă spiră (*a*, *b*) sau dispusă rar (*c*).

mici și mijlocii. În fig. 10.142 este reprezentată consolidarea capetelor de bobină cu bandă textilă la înfășurarea statorică a motoarelor asincrone trifazate de putere mijlocie.

Prin acoperirea integrală a suprafeței cu bandă se înrăutățește transmiterea căldurii în timpul funcționării mașinii : din acest punct de vedere procedeul este deci inferior consolidării cu sfoară, șnur sau bandă înfășurată rar.

Consolidarea prin inel de consolidare se aplică la mașinile de puteri mari, a căror înfășurare este realizată cu conductor de secțiune

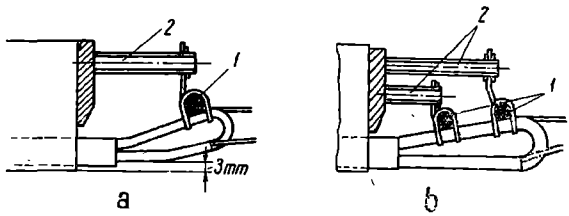


Fig. 10.143. Consolidarea capetelor de bobină ale unei înfășurări în două straturi prin inele de consolidare :

a — cu un inel de consolidare; *b* — cu două inele de consolidare ; *1* —inel de consolidare ; *2* — izolații de micanită.

circulară sau dreptunghiulară în bobine tari. În fig. 10.143 sînt reprezentate două consolidări cu inel pentru înfășurări în două straturi : cu un inel de consolidare (*a*) și cu două inele de consolidare (*b*).

În construcția înfășurărilor mașinilor de putere mare, consolidarea capetelor de bobină ridică probleme deosebite datorită solicitărilor electrodinamice la care este supusă această parte a înfășurării. La aceste înfășurări se aplică simultan : consolidarea prin inele suport, prin distanțoare și consolidarea prin strîngerea în scoabe. În construcția înfășurărilor pentru mașinile mari, distanțoarele izolante se fixează prin legare cu sfoară, așa cum este reprezentat în fig. 10.144.

În fig. 10.145 sînt reprezentate inelele suport de consolidare a capetelor de bobine, la turbogeneratorul de 3 000 kW produs de Fabrica de Mașini Electrice a U.C.M. — Reșița.

Consolidarea înfășurărilor de curent alternativ din rotoare se realizează prin bandajare. Bandajele, în cazul înfășurărilor în două straturi din bare se execută ca în fig. 10.146, *a* pentru rotoare avînd diametrul pînă la 450 mm și turație mică, în timp ce soluția reprezentată în fig. 10.146, *b* este indicată pentru rotoare avînd diametrul peste 450 mm și viteză de rotație pînă la 3 000 rot/min (inclusiv).

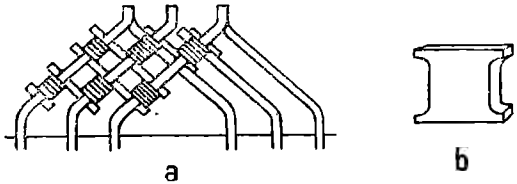


Fig. 10.144. Consolidarea capetelor de bobină prin distanțoare :

a — modul de așezare a distanțoarelor; *b* — forma constructivă a distanțoarelor.

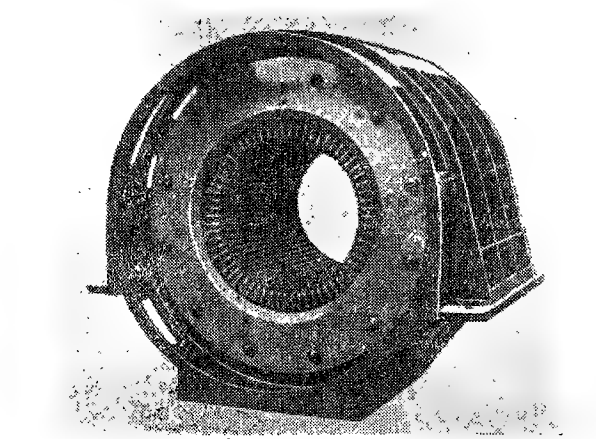


Fig. 10.145. Inelele de consolidare ale înfășurării statorice a turbogeneratorului de 3 000 kW (U.C.M. Reșița).

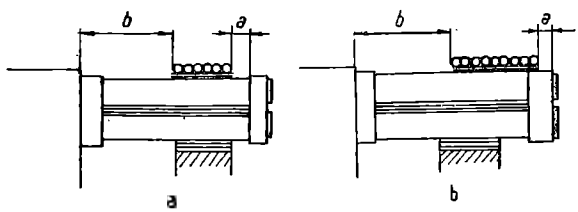


Fig. 10.146. Așezarea bandajelor de consolidare la înfășurările rotorice executate cu conductor profilat ; bobinaj în două straturi :

a — la rotoare cu diametrul pînă la 450 mm și viteză mică de rotație; *b* — la rotoare cu diametrul peste 450 mm și turație de 3 000 rot/min.

10.9.2. Construcția, calculul și execuția bandajelor de consolidare

Bandajele se execută din sîrmă de oțel coardă de pian, sau sîrmă din bronz. Spirele bandajelor, așezate una lîngă alta pe un suport de material izolant, sînt consolidate între ele cu ajutorul unor scoabe (v. fig. 10.147) din tablă cositorită sau din cupru cositorit de 0,25 mm grosime pentru sîrmă cu diametrul pînă la 1,2 mm, sau de 0,35—0,5 mm pentru sîrme cu diametrul mai mare de 1,5 mm.

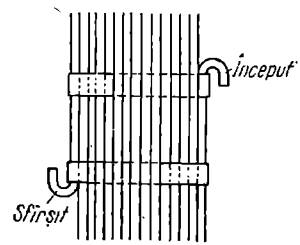


Fig. 10.147. Consolidarea cu scoabe a capetelor bandajelor din sîrmă.

O atenție deosebită trebuie acordată fixării capetelor bandajului (începutul și sfîrșitul, la ieșirea din scoabele de capăt). Scoaba de la capătul bandajului (începutului) se îndoaie în jurul primei spire și peste capătul îndoit se înfășoară celelalte spire. Începutul și sfîrșitul bandajului trebuie să se depășească unul pe altul (v. fig. 10.147). Lățimea acestor scoabe este de 15—20 mm, iar a celor intermediare de 8—10 mm. Scoabele de capăt sînt mai lungi decît lățimea bandajului cu 20—25 mm, iar cele interioare cu 10—12 mm.

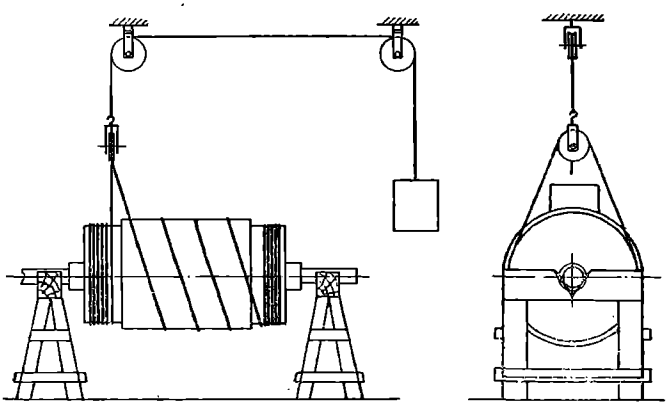


Fig. 10.148. Dispozitiv pentru întinderea bandajelor.

La așezarea bandajelor pe rotor se procedează astfel : se fixează de rotor un capăt al sîrmei bandajului, apoi prin învîrtirea rotorului (v. fig. 10.148) se aplică numărul de spire necesar plus 2 . . . 3 spire. Apoi se continuă așezarea spirelor celui de-al doilea bandaj după ce

sîrma a fost trecută pe după o rolă de întindere. Capătul liber al sîrmei se prinde de rotor. Rotind de cîteva ori (3—4 ori) în ambele sensuri rotorul, se obține aceeași întindere și o așezare uniformă a spirelor bandajului. Pentru întinderea corectă a sîrmei se alege valoarea greutății G egală cu dublul forței de întindere F, care se stabilește conform tabelei 10.31, în funcție de diametrul sîrmei.

Tabela 10.31

Diametrul sîrmei mm	Întinderea F kgf	Diametrul sîrmei mm	Întinderea F kgf
0,5	10	1,5	100
1,0	45	2,0	180

Numărul de spire w_b ale bandajului se calculează cu relația

$$w_b = 1{,}27 \frac{F}{d_b^2} \qquad (10.64)$$

în care d_b este diametrul sîrmei, în mm.

Secțiunea transversală a bandajului se calculează cu relația :

$$s_b = \frac{P}{k_z} \quad [\text{cm}^2] \qquad (10.65)$$

în care P este forța transversală care solicită bandajul

$$P = lN_c s_{Cu} Dn^2 \gamma_{Cu} \cdot 10^{-10} \quad [\text{kgf}] \qquad (10.65, a)$$

iar k_z este solicitarea admisibilă la întindere a bandajului, în kgf/cm^2.

În calculul forței P, așa cum rezultă din relația (10.65, a) intervin :

l — lungimea părților frontale care se consolidează (cm) ;
N_c — numărul total de bare ale rotorului ;
s_{Cu} — secțiunea transversală a barei de cupru (cm^2) ;
D — diametrul rotorului la bandaje (cm) ;
n — turația rotorului (rot/min) ;
γ_{Cu} = 0,0089 kgf/cm^3 — greutatea specifică a cuprului.

Atunci cînd se înlocuiește un bandaj din sîrmă cu diametrul d_1 și un număr de spire w_1 cu un bandaj nou din sîrmă de alt diametru d_2, numărul nou de spire w_2 se calculează cu relația :

$$w_2 = w_1 \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 . \qquad (10.66)$$

La bandajare trebuie să se țină seamă de următoarele :

— pe rotor scoabele trebuie să fie așezate deasupra dinților și nu peste crestături ;

— lățimea scoabelor nu trebuie să depășească grosimea părții superioare a dinților ;

— grosimea bandajului și a scoabei nu trebuie să depășească adîncimea canalului ;

— distanța dintre scoabe trebuie să fie sub 150 mm, iar repartizarea scoabelor trebuie să se facă uniform la periferia rotorului ;

— distanța dintre două bandaje vecine trebuie să fie mai mică de 250 mm.

— bandajarea la părțile frontale se va face dinspre rotor spre capetele înfășurării ; se evită în acest fel bombarea bandajului.

După bobinare, întregul bandaj se lipește cu aliaj de cositor 30—40%. Mai întîi trebuie să se lipească începutul și sfîrșitul bandajului, adică scoabele de capăt, apoi scoabele intermediare și pe urmă întregul bandaj. Se formează în acest fel o centură metalică continuă, care asigură repartizarea uniformă a tensiunilor în toate spirele bandajului, chiar în cazul cînd, la înfășurare, nu s-a aplicat o forță de întindere egală în toate spirele bandajului.

Lipirea bandajului trebuie să se facă cu ciocane de lipit electrice cu secțiune lată, bine încălzite. În acest fel se va putea efectua lipitura mai rapid, evitîndu-se supraîncălzirea înfășurării de sub bandaje. De recomandat sînt ciocanele de lipit relativ mari, avînd temperatura ridicată, 350—400 °C. Pentru evitarea supraîncălzirii înfășurării de sub bandaje se folosește adeseori răcirea suplimentară. În timpul lipirii bandajului, prisosurile de aliaj de pe bandaj se îndepărtează, înainte ca acesta să se întărească, cu ajutorul unei lavete de bumbac umedă.

10.10. ÎNCERCĂRI LA EXECUȚIA ÎNFĂȘURĂRILOR

Realizarea unei înfășurări de calitate necesită încercări de verificare pe parcursul procesului tehnologic, în vederea stabilirii porțiunilor de izolație deteriorate sau slăbite.

Controlul începe înainte de executarea bobinelor, prin examinarea și încercarea materialelor izolante care urmează să fie folosite. Se evită utilizarea izolației vechi de la o mașină căreia i s-a scos înfășurarea ; de asemenea se evită utilizarea izolației care a fost depozitată în locuri necorespunzătoare, caracterizate prin umezeală, aciditate, praf etc. De la o înfășurare veche se poate utiliza cel mult conductorul, dacă nu prezintă perlări superficiale în urma unor eventuale scurtcircuite între spire.

Bobinele prefabricate se încearcă la proba între spire înainte de introducerea lor în crestăturile mașinii, pentru a se elimina bobinele

care prezintă scurtcircuite între spire. După introducerea bobinelor în crestături se efectuează încercări pentru verificarea începutului și sfîrșitului bobinelor, pentru executarea corectă a legăturilor între porțiunile de înfășurare. Apoi se încearcă izolația înfășurării față de masă.

Încercarea izolației între spirele înfășurării nu se poate executa decît la mașina montată sau care are cel puțin statorul și rotorul montate provizoriu împreună.

10.10.1. Încercarea și controlul izolației

Încercările pentru determinarea rigidității dielectrice, a umidității și a celorlalte caracteristici ale materialelor electroizolante, implicînd instalații și aparate costisitoare, se execută de laboratoare specializate în asemenea lucrări.

În atelier se execută încercări de control pentru verificarea grosimii izolației, starea izolației și caracteristicile mecanice ale acesteia.

Grosimea izolației se măsoară cu micrometrul. Trebuie avut grijă ca mostra măsurată să fie perfect plană. Se execută măsurări în mai multe puncte pentru a se constata uniformitatea grosimii.

Caracteristicile mecanice se verifică prin îndoirea materialului la 180°. Se examinează astfel starea izolației spre a se constata eventualele fisurări în zona de îndoire ; se stabilește totodată numărul de îndoiri la care rezistă. Flexibilitatea izolației este cu atît mai mare cu cît numărul de îndoiri la care rezistă este mai mare. Îndoirile se realizează succesiv după direcția fibrei, și transversal pe aceasta.

Celelalte caracteristici mecanice și anume rezistența la întindere, la încovoiere, la compresiune, duritatea, vîscozitatea, se pot măsura numai cu instalații speciale, în laboratoarele de încercări.

10.10.2. Verificarea izolației conductorului de bobinaj

Conductorul de bobinaj izolat cu bumbac, mătase sau altă izolație textilă, poate prezenta locuri desgolite pe anumite porțiuni, izolație neregulată, cu noduri sau rărită. Aceste defecte, în cazul în care nu sînt în număr exagerat, se elimină corectînd izolația prin executarea manuală a izolației în zonele în care s-au constatat defectele.

Conductoarele izolate cu email pot prezenta ciupiri (locuri în care izolația conductorului este deslipită), sau fisuri. În ambele cazuri porțiunile respective de conductor sînt de neutilizat, prezentînd pericolul

străpungerii între spire. Conductoarele izolate cu email se verifică la numărul de îndoiri; o izolație corespunzătoare este cea care se rupe sau se desprinde de pe conductor după sau o dată cu ruperea conductorului.

10.10.3. **Controlul bobinelor prefabricate**

Încercările de control ale înfășurărilor repartizate executate cu bobine prefabricate (semitari sau tari) încep cu controlul bobinelor, deoarece bobinele prefabricate, nu mai suferă modificări constructive, după ce au fost realizate și sînt gata pentru a fi introduse în crestături (în special bobinele tari).

La bobinele prefabricate se execută controlul dimensiunilor geometrice pentru a le putea încadra în spațiul prevăzut pentru ele în mașină. Controlul izolației bobinei prezintă importanță și din cauză că nu sînt permise spații goale în crestătură în care să rămînă interstiții de aer, fiindcă în acest fel este îngreunată transmiterea căldurii de la bobină la miez și deci înfășurarea se va încălzi peste limitele admisibile; interstițiile de aer conduc la o îmbătrînire rapidă a izolației.

Bobinele tari gata prefabricate, la care nu se mai aduc modificări ulterioare se încearcă la proba între spire și la străpungere.

Încercarea izolației la proba între spire are drept scop găsirea eventualelor scurtcircuite între spire și se poate face după metoda descrisă în § 10.10.5, cu ajutorul unei instalații în care bobina de încercat formează secundarul unui transformator (cu jugul mobil, în vederea introducerii ușoare a bobinei de încercat).

Pentru a putea utiliza aceeași instalație la încercarea unor bobine de dimensiuni diferite, instalația se alimentează de la o sursă de frecvență variabilă; în acest fel curentul în primarul transformatorului rămîne aproximativ constant (fiindcă se menține constantă inducția magnetică în miezul transformatorului), creșterea tensiunii obținîndu-se prin creșterea frecvenței. Tensiunea de alimentare are frecvența variabilă între limitele 50—1 000 Hz și se obține de la un generator de unde cu frecvență variabilă construit cu tuburi electronice.

În tabela 10.32 sînt date valorile tensiunilor de încercare în funcție de tipul izolației între spire.

Încercarea izolației față de masă se poate face cu o instalație de tipul celei descrise în cap. X însă de putere mai mică. Încercarea se face asupra porțiunilor de bobină sau conductor izolate complet înainte de introducerea în crestătură în vederea prevenirii punerilor la masă ale înfășurării. În acest scop bobina sau conductorul se îmbracă cît mai strîns cu o teacă conductoare (staniol) numai pe por-

Tabela 10.32

Nr. crt.	Tipul izolației	Tensiunea de încercare a izolației spirelor în V/spiră
1	Conductor izolat cu un singur strat de bumbac (impregnat)	150
2	Conductor izolat de 2 ori cu bumbac (impregnat)	300
3	Conductor izolat cu email și o dată bumbac (impregnat)	400
4	Conductor izolat cu email și o dată mătase (impregnat)	400
5	Conductor izolat cu bandă de bumbac, jumătate suprapusă	500
6	Conductor izolat cu bandă de mică de 0,3 mm, jumătate suprapusă	800
7	Conductor izolat cu bandă de mică de 0,13 mm, jumătate suprapusă și deasupra cu o bandă de bumbac așezată margine la margine	1 000
8	Conductor izolat de 2 ori cu bumbac și cu un strat de mică de 0,13 mm, jumătate suprapusă și unul de bandă de bumbac jumătate suprapusă	1 500
9	Conductor izolat de 2 ori cu bumbac, cu 2 straturi de bandă de mică de 0,13 mm și un strat de mică, margine la margine	2 000

Observații. Durata încercării 10—15 s.

Tensiunea de încercare a unei bobine se obține înmulțind numărul de spire cu tensiunea de încercare pe spiră.

țiunea izolată care la montaj este așezată în crestătură. Teaca metalică se leagă la masă (fig. 10.149), iar conductorul se leagă la sursa de înaltă tensiune (la transformatorul *T*). Transformatorul *T* este alimentat de la rețea prin intermediul unui autotransformator reglabil *AT*. Tensiunea se citește la voltmetrul *V* conectat la bornele înfășurării

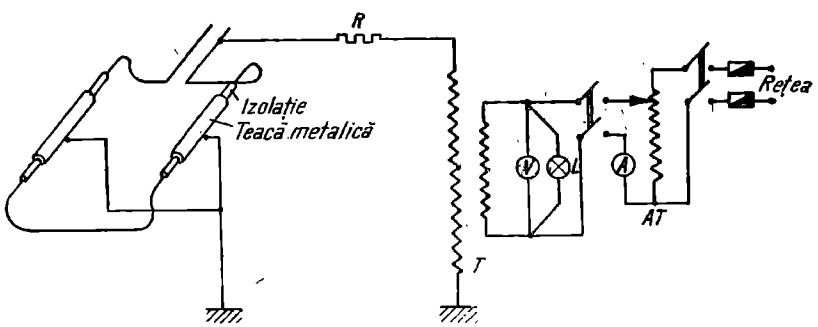


Fig. 10.149. Schemă pentru încercarea rigidității dielectrice a bobinelor prefabricate :

T — transformator; *AT* — autotransformator; *R* — rezistență de protecție; *L* — lampă de semnalizare.

primare a transformatorului T și etalonat direct pentru tensiunea pe partea de înaltă tensiune a transformatorului T.

O creștere a curentului măsurat de ampermetrul A conectat în serie cu înfășurarea primară a transformatorului T, indică prezența unei puneri la masă a conductorului.

În tabela 10.33 sînt date valorile tensiunilor de încercare pentru teaca izolantă, bobine și secții în funcție de tensiunea nominală la bornele mașinii și de reparația efectuată.

10.10.4. Verificarea legăturilor între bobinele aceleiași căi de curent în timpul execuției

După ce s-au introdus bobinele în crestături trebuie executate legăturile între bobine și izolate regiunile de îmbinare, lipire sau sudare. Aceasta se poate face cunoscînd începutul și sfîrșitul fiecărei bobine și urmărind schema înfășurării respective ; în acest scop este necesar să se cunoască și crestăturile pe care le ocupă fiecare bobină. De cele mai multe ori toate acestea se pot constata direct. Însă la mașinile mici sau la cele care sînt executate cu bobine prefabricate este necesar un control și trebuie efectuate măsurători pentru identificarea bobinelor.

Identificarea capetelor unei bobine. Se leagă capătul cunoscut la borna unei surse de curent ; borna cealaltă a sursei se leagă la o bornă a unui voltmetru de scară potrivită. Cu un cordon avînd un capăt legat la cealaltă bornă a voltmetrului se încearcă pe rînd celelalte capete libere ; cînd acul aparatului de măsurat deviază, înseamnă că s-a făcut legătura cu celălalt capăt al bobinei, circuitul închizîndu-se prin bobină. De remarcat că în ateliere se utilizează în locul voltmetrului o lampă de control ; utilizarea acesteia este potrivită numai dacă se alege lampa de putere potrivită, pentru a nu trece prin înfășurare un curent peste curentul nominal, care ar putea conduce la avarierea înfășurării.

Identificarea crestăturilor în care se află o bobină, o secție sau înfășurarea unei faze. Se alimentează capetele bobinei de la o sursă de curent continuu reglabilă, fără a se depăși curentul nominal al bobinei. Cu o lamă feromagnetică a cărei lățime este mai mică decît pasul crestăturii se palpează deschiderile crestăturilor pe rînd. În dreptul crestăturilor în care se află bobina alimentată lama este atrasă spre miezul feromagnetic.

Tabela 10.33

Nr. crt.	Denumirea piesei și a operației de reparare	Tensiunea nominală a mașinii, în volți					
		până la 500		3 000		6 000	
		Gradul					
		I	II	I	II	I	II
1	Teaca izolantă a înfășurării cusute după executare, înainte de introducerea în crestătură	$2U+2\,500$	$2U+2\,500$	16 000	16 000	26 000	26 000
2	Bobinele executate din nou sau reizolate la locul reparației, aparținînd la înfășurări în două straturi	$2U+2\,000$	$2U+2\,000$	13 500	13 500	22 500	22 500
3	Idem, însă pentru bobine executate în fabrică	$2U+2\,000$	$2U+2\,000$	11 500	11 500	17 500	17 500
4	Țevi izolante ale înfășurării cusute după introducerea în crestături, înainte de executarea înfășurării	$2U+1\,500$	$2U+1\,500$	13 500	13 500	22 500	22 500
5	Idem, după așezarea bobinelor, înainte de executarea conexiunilor	$2U+1\,500$	$2U+1\,500$	9 500	9 500	17 000	17 000
6	Executarea sau reizolarea la locul reparației bobinelor înfășurării în două straturi, după așezarea în crestături și introducerea penelor, înainte de executarea conexiunilor	$2U+2\,000$	$2U+2\,000$	9 500	9 500	17 000	17 000
7	Idem pentru bobine folosite ca bobine de închidere, pînă la introducerea penelor	$2U+2\,500$	$2U+2\,500$	10 000	10 000	18 000	18 000
8	Bobinele înfășurării în două straturi executate de fabrică, după așezarea în crestături și introducerea penelor ; înainte de executarea conexiunilor	$2U+1\,500$	$2U+1\,500$	9 000	9 000	15 000	15 000

9	Idem, însă pentru bobine folosite ca secții de închidere, pînă la introducerea penelor	$2U+2\,000$	$2U+2\,000$	9 500	9 500	16 500	16 500
10	Încercarea de sortare a țevilor izolante ale înfășurării cusute, așezate în crestături	—	—	—	11 500	18 000	—
11	Bobine ale înfășurărilor cusute la folosirea tecilor vechi, înainte de executarea conexiunilor	$U+1\,000$	$U+1\,000$	—	7 500	—	13 500
12	Încercarea de sortare a bobinelor vechi, ale înfășurării în două straturi așezate în crestături	$U+1\,500$	$U+1\,500$	—	10 000	—	16 500
13	Încercarea de sortare a bobinelor vechi ale înfășurării în două straturi scoase din crestături	$U+1\,000$	$U+1\,000$	—	8 500	—	14 000
14	Bobine vechi ale înfășurării în două straturi după așezarea în crestături și introducerea penelor, înainte de executarea conexiunilor	$U+1\,000$	$U+1\,000$	—	7 500	—	13 500
15	Idem, pentru bobine de închidere, înainte de introducerea penelor	$U+1\,500$	$U+1\,500$	—	8 000	—	14 500
16	Întreaga înfășurare, după executarea conexiunilor și lipiturilor	$1,5U+1\,200$	$U+750$	8 000	5 500	14 000	10 500
17	Încercări de recepție	$1,7U+850$ cel puțin 1 500 V	$U+500$	$1,7\,U+$ $+850$	$1,3\,U$	$1,7\,U+$ $+850$	$1,3\,U$

Observații:

1. Gradul I corespunde reparației capitale cu înlocuirea completă a izolației sau a întregii înfășurări. Gradul II corepunde reparației în care se folosește o parte din secțiile vechi, o parte din secții sînt executate din nou sau reizolate la locul reparației, de asemenea cu folosirea unor secții noi executate de fabrică.
2. U este tensiunea nominală de linie (a rețelei).
3. La încercarea conform punctelor 1, 2, 3 armătura metalică se așază numai pe porțiunea ce se dispune în crestături.
4. La așezarea bobinelor înfășurărilor în două straturi, izolația bobinelor folosite cu bobine de închidere se încearcă de două ori; după introducerea unei laturi a secției și după introducerea definitivă a ambelor laturi și montarea penelor.
5. Durata încercării: 1 minut.

Determinarea începutului şi sfîrşitului unei bobine în raport cu altă bobină. Se aleg arbitrar începutul şi sfîrşitul unei bobine, ale unei secţii sau faze de referinţă; începutul şi sfîrşitul tuturor celorlalte bobine, secţii sau faze se determină în raport cu aceasta. În acest scop se alege o bobină situată în crestături vecine cu bobina de referinţă sau chiar în aceleaşi crestături. Se alimentează bobina de referinţă de la o sursă de curent continuu legîndu-se spre exemplu începutul bobinei la borna + şi sfîrşitul la borna —. La bornele bobinei la care trebuie identificate capetele se conectează un milivoltmetru de curent continuu ca în fig. 10.150. La închiderea întrerupătorului *K*, se va constata că acul milivoltmetrului deviază; dacă se întîmplă ca acul să devieze spre stînga şi milivoltmetrul nu are nulul la mijloc, atunci se schimbă legăturile la aparatul de măsurat. Se deduce din figură că la închiderea întrerupătorului *K*, în bobina care se cercetează se induce de către cîmpul magnetic *B* o tensiune electromotoare *E*; tensiunea se măsoară cu milivoltmetrul *mV*. Cînd acul deviază spre dreapta la închiderea întrerupătorului *K*, capătul de bobină legat la borna — reprezintă începutul bobinei, iar capătul legat la borna + reprezintă sfîrşitul bobinei. La întreruperea circuitului, cînd se deschide întrerupătorul *K*, tensiunea electromotoare este de sens opus; în acest caz dacă acul milivoltmetrului deviază spre dreapta atunci începutul este legat la borna + iar sfîrşitul la borna —.

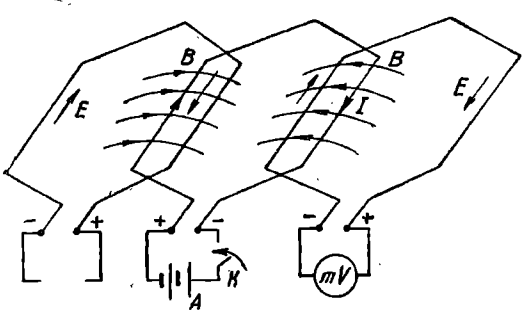


Fig. 10.150. Schemă pentru determinarea începutului şi sfîrşitului la un element de înfăşurare:
A — sursa de alimentare; *K* — întrerupător; *mV* — milivoltmetru.

Determinarea capetelor înfăşurării trifazate. În vederea realizării legăturii în stea sau triunghi, la placa de borne, trebuie cunoscute precis care sînt începuturile, respectiv sfîrşiturile celor trei înfăşurări. Determinarea lor se poate face foarte uşor în felul următor:

Se leagă în serie, la întîmplare, înfăşurările a două faze şi se alimentează cu o tensiune alternativă redusă (v. fig. 10.151). Se măsoară apoi tensiunea indusă la bornele celei de-a treia faze. Dacă tensiunea indusă în înfăşurarea fazei a treia este nulă, atunci cele două înfăşurări au legate între ele început cu început sau sfîrşit cu sfîrşit (fig. 10.151, a_1 sau a_2). Din contră, în cazul că înfăşurările celor două

faze se leagă între ele cu extremităţile de nume contrar, (fig. 10.151, b_1 sau b_2), atunci în înfăşurarea a treia se va induce o tensiune electromotoare egală cu aproximativ jumătate din tensiunea aplicată pentru motoare cu rotorul bobinat (înfăşurare deschisă) şi o tensiune mai mică în cazul motoarelor cu rotorul în scurtcircuit. După ce s-au sta-

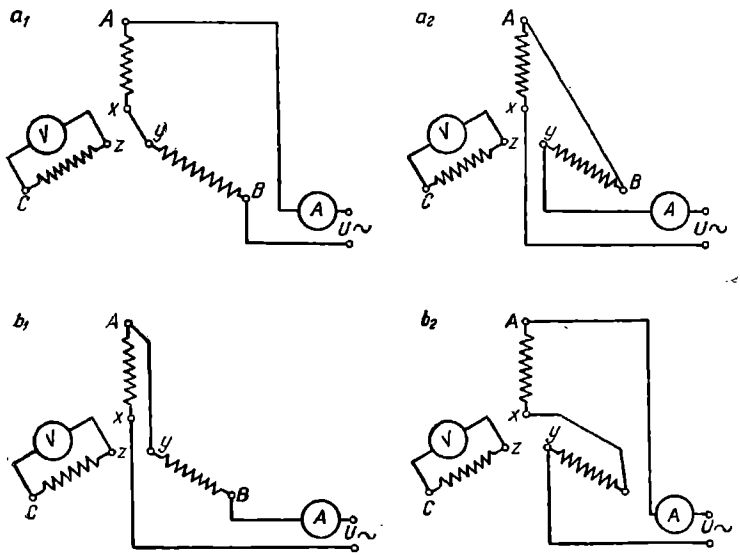


Fig. 10.151. Scheme pentru determinarea începuturilor şi sfîrşiturilor fazelor la înfăşurări trifazate.

bilit capetele de acelaşi nume a două înfăşurări, se ia una din aceste înfăşurări ale cărei ieşiri sînt determinate şi se leagă în serie cu înfăşurarea a treia. Înfăşurarea rămasă liberă se leagă la bornele voltmetrului. Identificarea începuturilor, respectiv sfîrşiturilor, decurge ca mai sus, luîndu-se fază de referinţă una din fazele identificate anterior.

Pentru identificarea capetelor înfăşurării, se pot lega cele două înfăşurări de fază şi în paralel, însă atunci se induce o tensiune în înfăşurarea a treia cînd se leagă început cu început şi sfîrşit cu sfîrşit şi tensiunea indusă este nulă cînd se leagă început cu sfîrşit (sau sfîrşit cu început).

Observaţie. Determinarea extremităţilor de acelaşi nume ale celor trei înfăşurări, prin metoda indicată mai sus, presupune că nu sînt legături greşite între grupele de bobine care compun înfăşurările fazelor respective. În caz contrar, voltmetrul va indica diferite deviaţii pentru oricare legătură.

Verificarea legăturilor la colector prin metoda milivoltmetrului. După ce s-au introdus bobinele în crestături și s-au executat legăturile la colector conform schemei înfășurării se trece la verificarea legăturilor corecte la colector.

Metoda milivoltmetrului necesită o sursă de curent cotinuu, un ampermetru, un reostat, un milivoltmetru și cordoane de legătură. În fig. 10.152 este dată schema de conexiuni pentru verificarea colectorului. Se aplică tensiunea de la sursa de alimentare la două lamele de colector situate diametral la înfășurarea buclată, sau la un pas polar la înfășurarea ondulată. În cazul înfășurărilor multiple care se închid de mai multe ori, dacă nu sînt realizate încă legăturile echipotențiale se va alimenta și verifica pe rînd fiecare înfășurare.

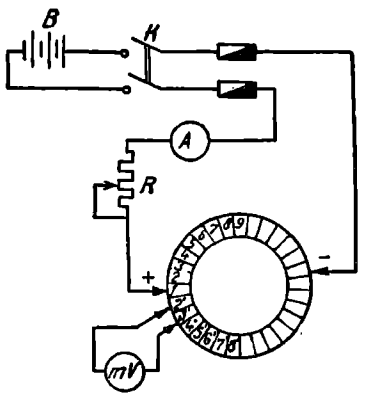


Fig. 10.152. Schema de conexiuni pentru verificarea legăturilor la colector :

B — sursa de alimentare; *R* — reostat de reglaj; *A* — ampermetru; *mV* — milivoltmetru.

Cu milivoltmetrul *mV* se măsoară căderea de tensiune între două lamele succesive ; la o înfășurare executată corect trebuie să se constate următoarele :

— pornind de la lamela + la care se alimentează trebuie să se mențină polaritatea constantă verificată cu milivoltmetrul conectat la cîte două lamele succesive ; astfel, conform fig. 10.152, acul milivoltmetrului va devia în același sens cînd se conectează succesiv între lamelele *1—2, 2—3, 3—4,* . . . , sau *1′—2′, 2′—3′, 3′—4′,* . . . ;

— căderile de tensiune dintre lamele trebuie să fie egale între ele.

Dacă la un moment dat milivoltmetrul indică o tensiune de polaritate schimbată, atunci rezultă că legăturile la colector sînt inversate.

Dacă milivoltmetrul nu indică nici o tensiune la un moment dat cu toate că între lamelele precedente a indicat, rezultă că între lamelele respective este un scurtcircuit, sau o lamelă este în afara circuitului.

În sfîrșit dacă pe o cale de curent nu se constată între lamele nici o tensiune cu excepția a două lamele între care se măsoară o tensiune aproape egală cu tensiunea aplicată, rezultă că înfășurarea prezintă o întrerupere în secția legată la lamelele între care se constată o tensiune ridicată.

La aplicarea metodei trebuie avut grijă ca mai întîi să se închidă întrerupătorul K de la sursa de alimentare și numai după aceea să se conecteze milivoltmetrul; după efectuarea măsurărilor, se deconectează mai întîi milivoltmetrul și apoi sursa, spre a nu periclita instrumentul expunîndu-l la supratensiunile ridicate care se produc la întreruperea circuitului de alimentare.

10.10.5. Încercarea izolației înfășurărilor așezate în crestături

O dată așezate înfășurările în crestătură, după introducerea penelor, consolidarea capetelor de bobină și executarea legăturilor între bobine, se execută cîteva încercări pentru a verifica starea izolației între spire și față de masă și pentru a stabili corectitudinea legăturilor între bobine conform schemei de înfășurare.

Metodele utilizate în acest scop sînt comune tuturor mașinilor electrice; numai puterea instalațiilor de măsură variază în funcție de puterea mașinilor de încercat.

Măsurarea rezistenței de izolație. Se execută cu ajutorul megohmmetrului; pentru mașinile a căror tensiune nominală este sub 500 V, încercarea se execută cu un megohmmetru de 500 V, iar mașinile care au tensiunea peste 500 V se încearcă cu un megohmmetru care produce tensiunea de 1 000 V sau 2 500 V.

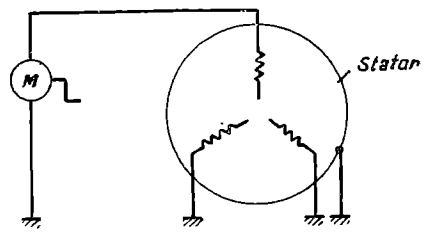


Fig. 10.153. Măsurarea rezistenței de izolație a unei înfășurări, cu megohmmetrul M.

Mașina de încercat este deconectată de la oricare aparat; înfășurarea care se încearcă se leagă la una din bornele megohmmetrului iar celelalte înfășurări se leagă împreună cu miezul feromagnetic și carcasa la cealaltă bornă (fig. 10.153). Rezistența de izolație în MΩ trebuie să fie mai mare sau cel puțin egală cu rezistența care rezultă din relația

$$R_{iz} = \frac{U}{1\,000 + \frac{P}{100}}, \qquad (10.67)$$

în care U este tensiunea nominală a înfășurării măsurată în V, iar P — puterea mașinii măsurată în kVA. Rezistența de izolație a înfășurărilor motoarelor electrice nu trebuie să fie sub 0,5 MΩ.

Rezistența de izolație se măsoară succesiv pentru toate înfășurările așezate atît în stator cît și în rotor. Înfășurările care au puneri la

masă vor avea o rezistență de izolație foarte mică iar cele umezite vor prezenta o rezistență scăzută.

Experiența a dovedit însă că o înfășurare cu o rezistență de izolație mică, nu este neapărat deteriorată ; astfel o înfășurare cu o umiditate ridicată la suprafață are o rezistență de izolație scăzută. Pentru a stabili mai precis starea înfășurării mai trebuie efectuate și alte încercări.

Încercarea izolației între spire, după montarea înfășurărilor în mașină. Cea mai simplă metodă pentru încercarea izolației dintre spire care se poate aplica numai la mașinile de curent alternativ care nu au înfășurări în scurtcircuit sau în colivie, constă în următoarele : se montează rotorul și statorul provizoriu fără scuturi, introducîndu-se în întrefier distanțoare din preșpan sau pertinax (fig. 10.154, *a*). Rotorul este așezat într-o poziție oarecare și în timpul probei el rămîne fix față de stator. Se alimentează una din înfășurări, fie a statorului, fie a rotorului, cealaltă rămînînd deschisă. Alimentarea se face de la un generator sincron *GS* la care putem varia tensiunea atît prin creșterea excitației cît și a frecvenței (mărindu-i viteza de antrenare) (fig. 10.154, *b*) ; în acest scop generatorul sincron este antrenat de exemplu de un motor de curent continuu *MC* alimentat de la o sursă de tensiune continuă variabilă (de exemplu de la un generator de curent continuu). În felul acesta o dată cu creșterea tensiunii de ali-

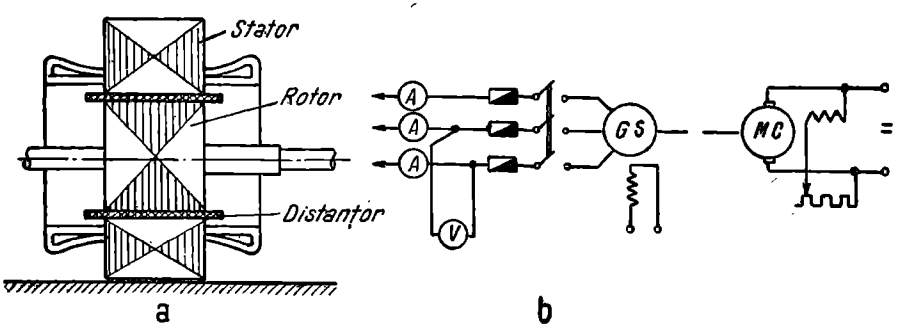


Fig. 10.154. Montajul provizoriu al statorului și rotorului pentru încercarea la probe între spire (*a*) și schema instalației (*b*).

mentare se mărește și frecvența, curentul rămînînd practic constant (sub curentul nominal). Dacă nu se produc scurtcircuite între spire curenții pe cele trei faze vor fi egali între ei ; inegalitatea curenților precum și variațiile bruște ale curentului pe una din faze în timpul probei, indică prezența unor scurtcircuite între spire.

Pentru încercarea înfășurărilor indusului mașinilor de curent continuu se aplică o metodă asemănătoare, denumită metoda inductivă,

însă cu deosebirea că în locul statorului se utilizează un electromagnet între armăturile căruia se introduce rotorul ca în fig. 10.155, *a*. Deschiderea dintre armătura mobilă a electromagnetului și cea fixă este variabilă și se ia aproximativ egală cu pasul polar τ al înfășurării. Înfășurarea electromagnetului se alimentează de la o sursă de frecvență ridicată (500—1 000 Hz). De remarcat că tensiunea dintre la-

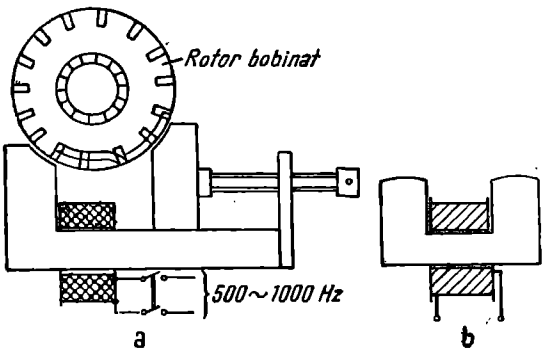


Fig. 10.155. Dispozitiv pentru încercarea izolației între spire a rotoarelor (*a*) și electromagnetul pentru proba între spire a rotoarelor (*b*).

mele nu trebuie să depășească 1,3 din tensiunea nominală între lamele. În cazul cînd o bobină se încălzește rezultă că înfășurarea este defectă, bobina respectivă prezentînd scurtcircuite între spire. Locul scurtcircuitului se mai poate stabili și cu ajutorul unei lamele feromagnetice sau cu o cască telefonică alimentată de la o bobină mobilă care se plimbă pe suprafața rotorului ; în zona scurtcircuitată lamela vibrează puternic, iar în casca telefonică se aude un ton de frecvența tensiunii de alimentare a electromagnetului.

Această metodă inductivă se poate utiliza și la încercarea rotoarelor sau a statoarelor mașinilor de curent alternativ. În cazul încercării statoarelor trebuie numai să se dea o formă potrivită armăturilor electromagnetului așa cum se arată în fig. 10.155, *b* pentru a se înscrie după curbura interioară a statorului.

Încercarea izolației înfășurărilor montate în mașină se face utilizînd instalația reprezentată în fig. 10.149 și descrisă și în cap. 11. În acest scop înfășurarea de încercat se leagă la o bornă a transformatorului ; celelalte înfășurări și carcasa se leagă la pămînt împreună cu cea de a doua bornă a transformatorului.

Durata încercării este de 1 minut iar tensiunile de încercat sînt indicate în tabela 10.32, liniile 16 și 17. Ridicarea tensiunii se face treptat.

Măsurarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu. Înfășurările mașinilor mici au în general o rezistență relativ mare (mai mare decît 1 Ω) ; măsurarea acestei rezistențe se face cu o punte Wheatstone sau Thomson.

Înfășurările mașinilor de tensiuni mici sau de puteri mijlocii și mari au rezistența relativ mică ; o metodă pentru măsurarea acestora o constituie metoda voltmetru-ampermetru. În fig. 10.156, *a* este dată

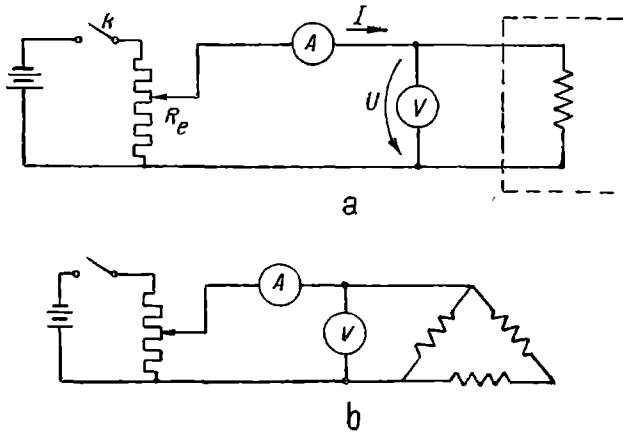


Fig. 10.156. Schema pentru măsurarea rezistenței înfășurărilor prin metoda voltmetru-ampermetru.

schema de măsură ; voltmetrul este montat în aval față de ampermetru. După închiderea întrerupătorului K se stabilește în circuit un curent I care se măsoară cu ampermetrul A. Curentul se reglează prin intermediul rezistenței R_e montată potențiometric. Cunoscînd și valoarea U a tensiunii la bornele înfășurării (fiind măsurată cu voltmetrul V), rezistența înfășurării ținînd seama și de rezistența R_v a voltmetrului, rezultă din expresia

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}} . \qquad (10.68)$$

Dacă U se ia în volți, I în amperi și R_v în ohmi, rezultă R în ohmi.

Rezistența R măsurată la temperatura t se recalculează la temperatura de 75 °C după relația

$$R_{75} = R_t \frac{235+75}{235+t} , \qquad (10.69)$$

în care rezistența R_t se ia în ohmi, iar temperatura t în °C.

La înfășurările conectate în triunghi se măsoară rezistența R_Δ între două faze (figura 10.156, *b*); rezistența R pe fază se calculează din relația

$$R = 1{,}5\, R_\Delta. \tag{10.70}$$

La înfășurările conectate în stea se măsoară direct rezistența unei faze conectînd schema de măsură între nul și fază.

La înfășurările buclate simple, fără conexiuni echipotențiale rezistența R a indusului se determină din rezistența R_D măsurată între două puncte diametrale astfel

$$R = \frac{R_D}{a^2}, \tag{10.71}$$

unde a este numărul perechilor de căi de curent.

La înfășurările ondulate simple, rezistența măsurată între două lamele situate la un pas polar la colector $\left(\text{adică la } \frac{K}{2p} \text{ lamele}\right)$ reprezintă rezistența înfășurării indusului.

La înfășurările buclate multiple, ondulate multiple sau combinate, rezistența înfășurării se determină măsurînd curentul total I și tensiunea U între două lamele situate sub perii, înfășurarea indusului fiind alimentată de la o sursă de curent continuu. Valoarea rezistenței se calculează după relația

$$R = \frac{U}{I}.$$

Observație. După măsurarea rezistenței este bine să se deplaseze cursorul reostatului R_e astfel încît curentul prin circuitul înfășurării să scadă la zero și abia după aceea să se deschidă întrerupătorul K. Dacă întrerupătorul K se deschide cînd curentul prin circuitul înfășurării este mare, se pot produce supratensiuni periculoase atît pentru personalul care lucrează cît și pentru aparatele de măsură.

Încercarea de atelier în gol și în sarcină a mașinii. După ce s-a constatat că mașina nu prezintă nici un defect de izolație, se poate trece la încercarea mai întîi în gol, iar apoi în sarcină a mașinii. În acest scop mașina se montează și se realizează schema de conexiuni respectivă după cum mașina este motor sau generator.

La funcționarea mașinii în regim de motor trebuie să se dispună de sursa de alimentare continuă sau alternativă după cum motorul este de curent continuu sau de curent alternativ. De asemenea tensiunea de alimentare trebuie să fie egală cu tensiunea nominală a motorului.

La funcționarea mașinii în regim de generator trebuie să se dispună de o mașină de antrenare care să aibă aceeași viteză nominală ca și mașina de încercat.

La încercarea mașinii în funcționare se pot ridica toate caracteristicile de funcționare.

În timpul funcționării mașinii trebuie verificate următoarele :

— turația mașinii (care se măsoară cu tahometrul) ;

— dacă mașina este bine echilibrată și nu prezintă vibrații ;

— încălzirea mașinii, încălzirea înfășurărilor, a legărelor etc.

În mod curent la mașinile rebobinate nu se ridică toate caracteristicile ca în cazul mașinilor noi construite. Informațiile obținute însă cu prilejul funcționării mașinii sînt necesare spre a se confirma calitatea execuției bobinajului.

10.11. DEFECTELE ÎNFĂȘURĂRILOR REPARTIZATE ȘI REPARAREA ACESTORA ÎN TIMPUL EXECUȚIEI

În timpul procesului tehnologic pot surveni anumite defecte la înfășurările care se execută, iar scopul încercărilor pe parcurs este tocmai de a găsi aceste defecte spre a le înlătura.

Mult mai rar pot surveni întreruperi ale bobinajului dacă lipiturile au fost executate corect.

Cele mai frecvente defecte ale înfășurărilor în timpul execuției provin datorită deteriorării izolației ; astfel se pot produce :

— scurtcircuite între spire la bobinele prefabricate sau la înfășurările montate în crestături ;

— puneri la masă directe sau în timpul încercărilor de control.

Metodele de încercare descrise în paragraful precedent permit stabilirea și localizarea defectului.

10.11.1. Scurtcircuitul între spire

Acest defect se produce datorită izolației de calitate slabă — datorită utilizării unui conductor, neizolat în această regiune sau datorită deteriorării mecanice a izolației în timpul execuției — și apare la proba între spire. Procedînd din aproape în aproape, încercînd pe rînd fiecare bobină în parte, se pot identifica bobinele care prezintă scurtcircuite între spire. Bobinele defecte se înlocuiesc cu bobine noi, în cazul în care defectul nu se poate remedia ușor prin întărirea izo-

laţiei cu o izolaţie suplimentară în locul defect. Trebuie avut grijă ca prin întărirea izolaţiei să nu rezulte o îngroşare a bobinei care ar conduce la introducerea forţată a acesteia în crestătură dînd astfel posibilitatea apariţiei unor noi defecte. În acest scop se înlătură izolaţia din locul defect şi se bandajează cu o nouă izolaţie asigurînd totodată strîngerea şi menţinerea izolaţiei pe conductor şi între-spire.

10.11.2. **Punerea la masă**

La măsurarea rezistenţei de izolaţie sau la încercarea rigidităţii bobinelor prefabricate sau a înfăşurării montate în crestături se poate constata o punere la masă a acestora. Defectul apare datorită deteriorării izolaţiei înfăşurării faţă de masă; astfel izolaţia crestăturii poate fi tăiată de către tolele care au marginile ieşite, sau izolaţia are calităţi mecanice şi electrice slabe. În primul caz după ce s-a scos bobina din crestătura în care s-a produs punerea la masă, se iau mai întîi măsuri de înlăturarea cauzei defectului; în acest scop se pilesc marginile tolelor ieşite în afară. Izolaţia defectă a crestăturii se înlocuieşte cu una nouă.

10.12. IMPREGNAREA, ACOPERIREA ŞI COMPUNDAREA BOBINELOR ŞI ÎNFĂŞURĂRILOR MAŞINILOR ELECTRICE

În construcţia maşinilor electrice se utilizează încă în mare măsură materialele electroizolante pe bază de fibre (bumbac, mătase, carton electrotehnic, ţesături din fire de sticlă etc.) care prezintă porozităţi, canale capilare şi în general multe interstiţii umplute cu aer. Totodată ele prezintă o higroscopicitate ridicată absorbind apa din mediul ambiant. Aerul din interstiţii prezintă o conductibilitate termică redusă, constituind de fapt un izolant termic şi mărind astfel încălzirea înfăşurărilor. Rigiditatea dielectrică scăzută a aerului favorizează descărcările electrice în aceste interstiţii în timpul funcţionării maşinii conducînd la o uzură prematură a izolaţiei.

Materialele electroizolante fibroase neîmpregnate nu prezintă o rigiditate mecanică suficientă pentru a rezista la forţele electrodinamice de scurtcircuit şi chiar la forţele mecanice care se produc în decursul procesului tehnologic.

Totodată materialele electroizolante fibroase neimpregnate au o mare aderenţă la praf (se măreşte astfel stratul izolant termic de la

suprafaţa înfăşurării, conducînd implicit la o creştere a încălzirii înfăşurării), precum şi o rezistenţă scăzută la acţiunea agenţilor chimici.

Toate aceste deficienţe se elimină prin procedeele de impregnare, acoperire sau compundare. Aceste procedee constau în principal din următoarele operaţii :

— uscarea bobinajelor neimpregnate ;

— impregnarea, acoperirea sau compundarea cu lacuri electroizolante respectiv compunduri bituminoase ;

— uscarea lacului sau compundului.

În funcţie de procedeu, respectiv de tipul de lac sau compund utilizat, instalaţiile necesare operaţiilor implică anumite utilaje specifice.

În urma impregnării, acoperirii sau compundării, lacul electroizolant respectiv compundurile bituminoase umplu interstiţiile şi golurile de aer din bobine şi înfăşurări. Lacurile şi compundurile electroizolante utilizate în acest scop au caracteristici electrice, mecanice şi termice net superioare faţă de cele ale aerului, împiedicînd totodată acţiunea agenţilor chimici asupra materialelor electroizolante fibroase, pătrunderea umezelii în înfăşurări şi apariţia îmbătrînirii premature a izolaţiei.

Prin operaţiile de uscare, impregnare şi compundare trebuie să se realizeze următoarele :

— izolaţia înfăşurărilor să nu prezinte înaintea acestui proces o umiditate ridicată ; apa din înfăşurare ar rămîne inclusă în izolaţie în urma impregnării sau compundării şi ar reduce caracteristicile electroizolante ale acesteia ;

— izolaţia înfăşurărilor să nu prezinte incluziuni umplute cu agenţi chimici şi solvenţi care pot acţiona asupra materialelor electroizolante ;

— izolaţia să nu prezinte unul din agenţii din mediul ambiant (praf, pilitură etc.), care ar putea micşora eficienţa impregnării, respectiv a compundării ;

— lacul de impregnare sau compundul bituminos de compundare să pătrundă prin toate interstiţiile bobinelor sau înfăşurărilor, ocupînd locul aerului care trebuie scos ;

— prin uscarea lacului trebuie să rezulte o suprafaţă lucioasă, neaderentă la praf, fără fisuri şi care să nu permită pătrunderea aerului, umezelii etc.

Impregnarea, acoperirea şi respectiv compundarea efectuate îngrijit, asigură însăşi clasa de izolaţie a maşinii ; astfel, materialele pe bază de hîrtie şi bumbac neimpregnate fac parte din clasa Y de izolaţie (care admite o temperatură limită de 90 °C), iar după impregnare trec în clasa A de izolaţie, admiţînd o temperatură limită de 105 °C.

10.12.1. Pregătirea bobinelor şi înfăşurărilor pentru operaţiile de impregnare sau compundare

Înainte de a se efectua impregnarea sau compundarea, bobinele şi înfăşurările trebuie supuse anumitor operaţii de uscare. Bobinele, respectiv înfăşurările care urmează să fie uscate în vederea impregnării, trebuie supuse în prealabil următoarelor operaţii pregătitoare :

— curăţirea cu aer comprimat uscat ;

— consolidarea bobinelor pentru a nu se deforma în timpul uscării şi impregnării ;

— aşezarea bobinelor pe căruciorul cuptorului şi introducerea lor în cuptor.

În fig. 10.157 se arată un grup de bobine aşezate pe o ramă, gata pentru uscare şi impregnare.

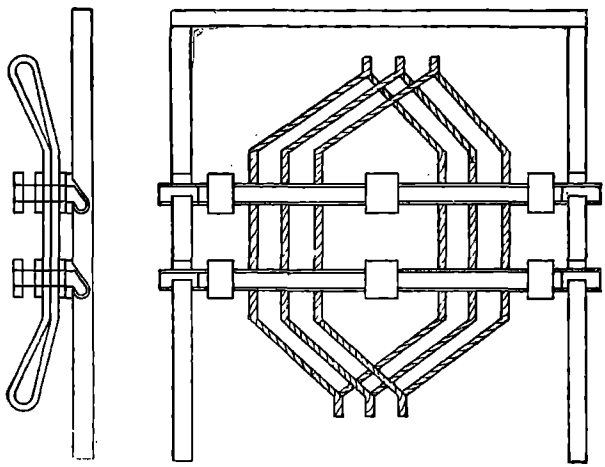


Fig. 10.157. Bobine fixate în dispozitiv-ramă gata de impregnare.

Operaţia de bază în perioada de pregătire a bobinelor şi înfăşurărilor o constituie uscarea efectuată în vederea eliminării umidităţii absorbită de materiale izolante care constituie izolaţia înfăşurării.

Uscarea se face în cuptoare izolate termic, protejate împotriva incendiilor şi amenajate special în vederea asigurării desfăşurării controlate a procesului de uscare :

— uscarea în curent de aer încălzit (cu circulaţie de aer naturală sau forţată) ;

— uscarea în vid ;

— uscarea cu radiaţii infraroşii.

Cuptoarele de uscare sînt amenajate corespunzător fiecărui procedeu. În primul caz cînd uscarea se face prin circulația aerului cald, sursa de căldură poate fi o rezistență electrică alimentată de la rețea, lămpi cu radiații infraroșii alimentate de asemenea de la rețea, o

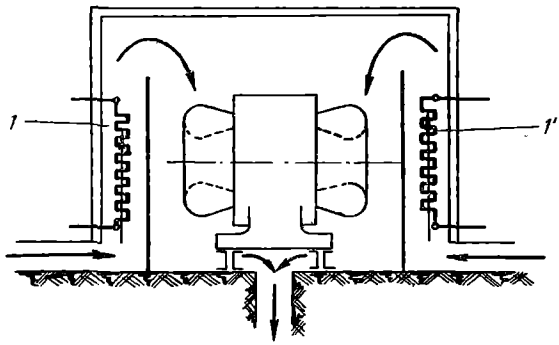


Fig. 10.158. Schema cuptorului cu circulație naturală de aer pentru uscarea înfășurărilor :
1, 1' — rezistențe de încălzire.

conductă de abur încălzit etc. Aerul încălzit care spală mașina poate circula într-un circuit deschis sau închis ; cînd aerul circulă în circuit deschis conductele de alimentarea cuptorului cu aer și cea de refulare sînt în legătură directă cu mediul ambiant (fig. 10.158).

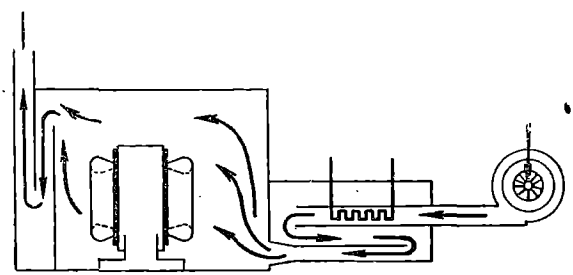


Fig. 10.159. Schema instalației de uscare cu circulație forțată de aer cald.

În fig. 10.159 este reprezentat schematic un cuptor cu circulație forțată a aerului încălzit. Aerul absorbit din exterior de o suflantă este refulat printr-o conductă într-o cameră de încălzire, iar de aici pătrunde în camera de uscare ; după ce spală obiectul de uscat este refulat spre mediul ambiant.

Uscarea în vid (adică într-un spațiu în care s-a scos aerul) este realizată de obicei în instalațiile complexe de uscare și impregnare sau uscare și compundare.

Uscarea cu radiații infraroșii are loc în cuptoare amenajate special ; lămpile care emit radiații infraroșii se așază în rînduri pe pereții cuptorului iar radiația este îndreptată spre obiectul de uscat. Aceste lămpi se produc pe scară largă în țara noastră. Prin utilizarea lămpilor cu radiații infraroșii, durata procesului de uscare se poate scurta de 6—7 ori, iar consumul de energie se poate reduce de 2 ori. Cuptoarele cu radiații infraroșii se pretează foarte bine la procesul de uscare continuu prin transportor.

Regimul de uscare, temperatura și durata uscării influențează gradul de eliminare a umidității ; în tabela 10.33 sînt indicate temperaturile optime și durata uscării. De remarcat că uscarea în vid poate fi efectuată la o temperatură mai scăzută (solicitîndu-se astfel mai puțin materialul din punct de vedere termic) ; temperaturile de uscare în vid (adică într-un spațiu din care s-a scos aerul) sînt mai reduse deoarece prin scăderea presiunii aerului în instalațiile de uscat a izolației mașinilor electrice, viteza de evaporare a umezelii de pe suprafața materialelor izolante crește ; se mărește totodată adîncimea de la care se elimină umezeala.

Durata procesului de uscare se stabilește în funcție de dimensiunile bobinei și mai precis în funcție de grosimea bobinei, respectiv în funcție de gabaritul mașinii.

La uscarea în cuptoare cu circulație de aer, se disting două perioade : în prima perioadă după introducerea obiectelor de uscat în cuptor și închiderea ușilor, se asigură o circulație de aer maximă și o reîmprospătare puternică a aerului, reglînd corespunzător ventilele conductelor de acces și refulare ; în a doua perioadă se micșorează debitul de aer la o valoare minimă, asigurîndu-se astfel o creștere corespunzătoare a temperaturii.

Și în cazul uscării în vid se deosebesc două perioade : în prima perioadă încălzirea bobinelor, respectiv înfășurarea are loc la presiunea atmosferică (perioada de preîncălzire), iar în a doua parte după ce înfășurările au ajuns la temperatura de uscare propriu-zisă, se face vid (punînd în funcțiune pompele de vid) și începe uscarea propriu-zisă.

Controlul uscării se face măsurînd rezistența de izolație a înfășurării cu megohmmetrul. În decursul procesului de uscare rezistența de izolație scade întrucîtva la început ca în fig. 10.160, iar apoi crește,

Tabela 10.33

Regimul de uscare în funcție de modul de uscare, dimensiuni și clasa de izolație a bobinelor și înfășurărilor

Nr. crt.	Tipul bobinajului	Dimensiuni gabarit	Modul de uscare	Temperatura °C	Durata uscării ore
1	Bobine ale mașinilor de joasă tensiune izolate cu izolație clasa A	mici	Cu circulație de aer	110—120	2—3
			în vid	80—100	1—2
		mijlocii	Cu circulație de aer	110—120	3—4
			în vid	80—100	2—3
		mari	Cu circulație de aer	110—120	4—8
			în vid	80—100	3—6
2	Bobine ale mașinilor de joasă tensiune izolate cu izolație clasa B, F	mijlocii sau mari	Cu circulație de aer	130—140	6—8 și mai mult
3	Bobinele mașinilor de înaltă tensiune cu izolație din produse de mică	—	în vid	140—150	6—10 și mai mult
4	Statoare și rotoare bobinate pentru tensiuni pînă la 500 V, izolație clasa A	mic	Cu circulație de aer	110—120	3—5
		mijlocii			5—8
		mare			8—14 și mai mult
5	Idem izolație clasa B, F	mijlocii	Cu circulație de aer	130—160	4—6
		mare			6—8 și mai mult
6	Idem rezistente la umiditate	mic	Cu circulație de aer	120—130	4—6
		mijlociu			6—10
		mare			10—16 și mai mult
7	Statoare și rotoare bobinate pentru tensiuni de 500—600 V	—	Cu circulație de aer	120—130	12—18 și mai mult
			în vid	110—120	8—12 și mai mult

atingînd astfel valoarea maximă care rămîne constantă apoi spre sfîrșitul procesului. În fig. 10.160 s-a mai reprezentat și variația prescrisă a temperaturii în timpul uscării.

Reușita operației de impregnare depinde foarte mult de uscarea înfășurărilor și bobinelor ; prezența umidității în izolația înfășurării are un rol deosebit de negativ grăbind îmbătrînirea și distrugerea ei și face ineficientă impregnarea sau compundarea.

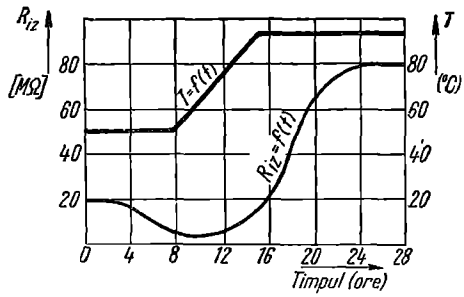


Fig. 10.160. Variația rezistenței de izolație și a temperaturii în timpul uscării unei înfășurări.

10.12.2. Impregnarea și acoperirea înfășurărilor

După uscarea bobinelor și înfășurărilor urmează procesul de impregnare a acestora efectuat în scopul golirii interstițiilor de aer, din izolație și umplerea acestora cu lac izolant.

Impregnarea se poate face după două procedee principale :

— impregnarea prin cufundarea obiectului într-o baie de lac la presiunea atmosferică ; procedeul se numește și impregnare prin imersiune ;

— impregnarea în autoclavă în vid.

În unele cazuri, cînd nu se poate aplica nici unul din aceste două procedee (la mașinile de dimensiuni mari și în cazul mașinilor electrice de mică putere destinate a funcționa în locuri lipsite de umezeală), lacul de impregnare se aplică local prin turnare sau prin stropire (v. fig. 10.161 — după Beck.

Calitatea impregnării depinde de gradul în care a pătruns lacul în porii și canalele materialului izolant deci de numărul de bule de aer rămase în materialul izolant după impregnare.

Impregnarea prin cufundare

După uscare bobinele și înfășurările izolate cu bumbac sau mătase se lasă să se răcească pînă la 40—60 °C ; cele izolate cu email se lasă să se răcească pînă la temperatura mediului ambiant. La această temperatură obiectele sînt pregătite pentru impregnare.

Baia de lac la o temperatură de 20—30 °C trebuie să fie suficient de adîncă pentru a permite cufundarea completă a obiectului de

Fig. 10.161. Impregnarea prin stropire.

Fig. 10.162. Impregnarea prin cufundare.

impregnat. Piesele suspendate de dispozitive prin agățare sînt introduse manual sau cu o macara încet într-o poziție înclinată, pentru a permite o evacuare ușoară a aerului și o pătrundere cît mai adîncă a lacului. Bobinele și înfășurările se țin cufundate în lac 10 minute sau mai mult, pînă dispare complet ridicarea bulelor la suprafața lacului din baie (v. fig. 10.162).

După aceea se scot obiectele din baie și se mențin suspendate deasupra ei pînă încetează scurgerea surplusului de lac antrenată o dată cu obiectul la ridicare ; rotoarele se pot învîrti, pentru centrifugarea eventualelor pungi acumulate în golurile dintre capetele de bobină, canale etc.

După impregnare obiectele sînt supuse unui proces de uscare.

În general la prima impregnare este indicat să se folosească lacuri puțin vîscoase, conținînd 20—25% elemente nevolatile ; în acest fel lacul pătrunde rapid și adînc în interstițiile și în porii izolați. La o a doua impregnare conținutul de elemente nevolatile poate ajunge pînă la 40—50%. La următoarele impregnări conținutul de elemente nevolatile poate fi sporit. Durata menținerii înfășurărilor la impregnare este maximă pentru prima impregnare. Durata ultimei impregnări nu poate fi mai mică de 5—10 min.

Impregnarea în vid

Procedeul tehnologic de impregnare în vid este mai complex și necesită instalații mai complicate.

În fig. 10.163 este reprezentată schematic o instalație de impregnare.

În autoclava *1* se introduc bobinele, rotoarele sau statoarele bobinate și uscate, gata pentru impregnare. De multe ori uscarea are loc tot în această autoclavă. Autoclava este închisă etanș pentru a se putea realiza vidul, și este izolată termic și prevăzută cu dispozitiv de răcire. Circuitul prin pereții autoclavei, asigură tocmai răcirea sau încălzirea acesteia. Autoclava *2* este un rezervor de lac cu dispozitiv de răcire. Autoclava *3*, echipată cu ventilator și dispozitiv de încălzire, servește la uscarea obiectelor.

Instalația este echipată cu o pompă de vid pentru realizarea vidului în autoclavele de impregnare și uscare și cu un compresor pentru realizarea presiunii de 7—8 at.

După uscarea bobinelor și a înfășurărilor etapele acestui procedeu sînt următoarele :

— răcirea bobinelor la temperatură cerută de procedeul de impregnare ;

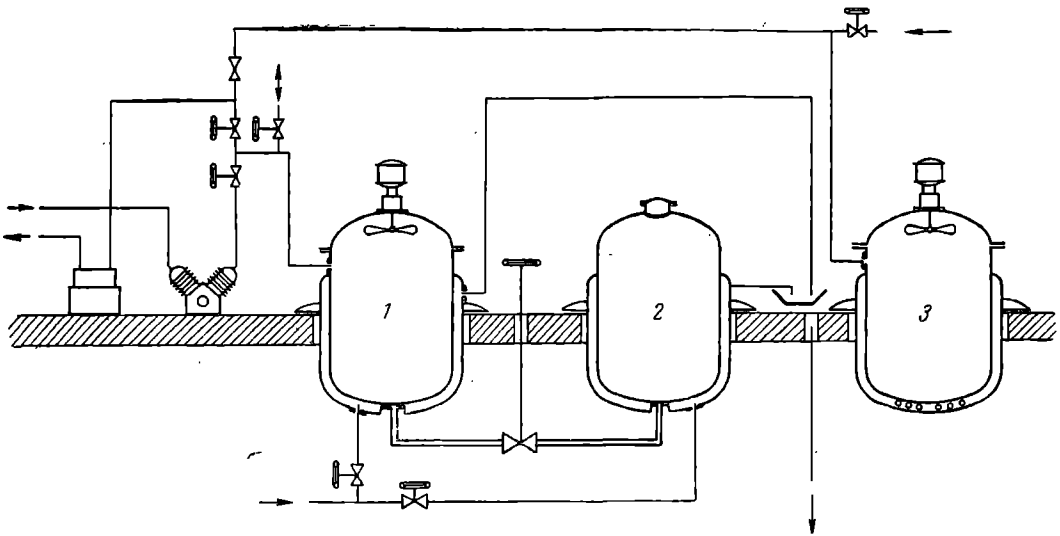


Fig. 10.163. Schema unei instalații de impregnare :

1 — autoclavă de impregnare cu dispozitiv de răcire și ventilator interior; *2* — rezervor cu lac cu dispozitiv de răcire; *3* — autoclavă pentru uscarea în vid.

— introducerea obiectelor de impregnat în autoclave speciale și producerea vidului (se scoate aerul din autoclave cu pompe de vid);

— introducerea lacului în autoclavă prin aspirație sau pompare și revenirea la presiunea atmosferică; menținerea lacului la această presiune pînă la 10 min;

— evacuarea sub o ușoară presiune a lacului din autoclavă;

— scurgerea surplusului de lac de pe obiectele din autoclavă în timp de 20—30 min; după scurgerea surplusului de lac se poate realiza din nou vidul în autoclavă și menține timp de 30 min în vederea evaporării rapide a solventului; urmează apoi o aerisire de 10 min; procedeul poate fi reluat de două-trei ori, evaporînd astfel o mare cantitate de solvent;

— scoaterea obiectelor din autoclavă și uscarea în aer.

Impregnarea în vid și sub presiune este însoțită de o creștere a presiunii — după ce s-a introdus lacul în autoclavă — pînă la o presiune de 7—8 at (adică 7—8 ori presiunea atmosferică, așa cum rezultă din curba notată cu $p=f(t)$ dată în fig. 10.164.

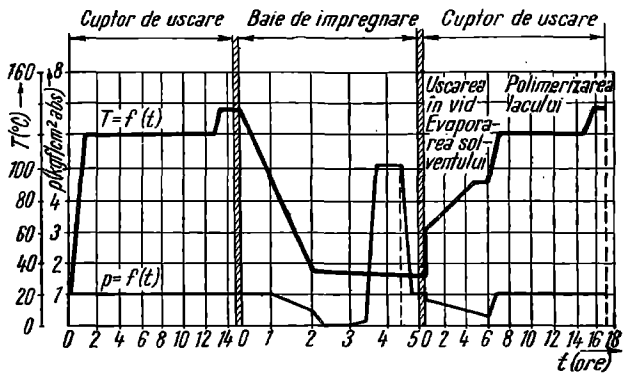


Fig. 10.164. Graficul procesului tehnologic (temperatura T și presiunea p) de uscare-impregnare-uscare pentru o instalație cu lacuri pe bază de rășini sintetice.

Variația temperaturii obiectului de impregnat introdus într-o instalație complexă de uscare-impregnare în vid și apoi sub presiune și uscarea este reprezentată de curba $T=f(t)$ din fig. 10.164.

Impregnarea sub presiune asigură o pătrundere și mai adîncă a lacului de impregnare.

Operația de vidare — introducerea lacului — realizarea presiunii se poate repeta de 2—3 ori în vederea obținerii unei calități bune a impregnării fără a socoti aceasta o impregnare repetată.

Acoperirea înfășurărilor

Pentru a face înfășurările rezistente la umiditate sau în condițiile tropicale, se recurge la acoperirea suprafeței înfășurărilor cu o peliculă de lac de acoperire realizată prin pulverizare (fig. 10.165), prin aplicarea cu pensula sau printr-o cufundare de scurtă durată de 10—15 s pînă la 2—3 min.

Fig. 10.165. Pulverizarea lacului de acoperire.

Metoda pulverizării permite realizarea unor straturi subțiri și uniforme de lac, însă are dezavantajul că nu poate realiza o acoperire sigură a suprafețelor mai greu accesibile ale înfășurărilor.

Aplicarea lacului cu pensula se utilizează numai în cazul retușărilor acoperirilor.

Metoda cea mai bună de acoperire este aceea a cufundării bobinelor într-o baie de lac de acoperire ; prin acest procedeu rezultă o peliculă subțire și continuă.

Înfășurările uscate după operația de impregnare, se răcesc pînă la 50—60 °C, se acoperă cu un lac de acoperire printr-una din metodele de mai sus, iar apoi se usucă fie în aer liber, fie în cuptorul de uscat.

Lacurile recomandate pentru acoperiri sînt lacurile asfalto-uleioase. În prezent se întrebuințează pentru acoperire și emailurile pig-

mentate ce conţin un pigment anorganic în scopul de a ridica conductivitatea termică şi rezistenţa emailului la temperaturi ridicate.

Uscarea în mediul ambiant necesită 3 pînă la 12 ore în funcţie de tipul lacului de acoperire. Uscarea în cuptor pentru cazul cînd se utilizează un lac de acoperire cu uscarea în cuptor, durează 4—8 ore şi se face la temperatura de 100—130 °C.

Uscarea după impregnare

După impregnare, înfăşurările sînt supuse procedeului de uscare în vederea eliminării solventului din lacul de impregnare şi polimerizării lacului.

Astfel în prima perioadă are loc evaporarea solvenţilor la temperatura de 50—70 °C în decurs de 2—4 ore. Ridicarea temperaturii peste 70 °C în această perioadă conduce la o uscare a lacului la suprafaţa bobinelor şi înfăşurărilor, împiedicînd astfel evaporarea solvenţilor din interiorul lacului de impregnare.

În perioada a doua are loc procesul de polimerizare a lacului de impregnare. Temperatura de uscare are o influenţă importantă asupra rigidităţii dielectrice a peliculelor de lacuri oleobituminoase. În figura 10.166 este reprezentată variaţia rigidităţii dielectrice a unui lac de impregnare în funcţie de durata procesului, pentru diferite temperaturi de uscare.

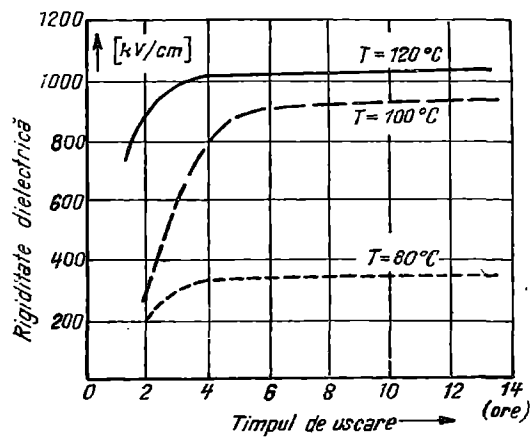


Fig. 10.166. Rigiditatea dielectrică în funcţie de durata uscării pentru diferite temperaturi de uscare.

Din figură rezultă că menţinerea înfăşurării la o anumită temperatură peste 4 ore nu va conduce la o modificare sensibilă a rigidităţii dielectrice. În schimb prin creşterea temperaturii de uscare de la 80 °C la 120 °C rezultă o mărire a rigidităţii dielectrice de cîteva ori.

Temperatura de uscare a bobinelor şi înfăşurărilor izolate cu izolaţie clasa A este de 120—130 °C, iar a celor din clasele de izolaţie

B-F este de 140—160 °C. Durata procesului de uscare variază de la 2—3 ore la bobinele de grosime mică, la 12—24 ore la statoarele și rotoarele mari.

Procedee de impregnare și acoperire

Impregnarea înfășurărilor se face după diferite procedee în funcție de lacurile de impregnare și acoperire alese, de numărul de impregnări etc.

Lacul de impregnare trebuie să corespundă clasei de izolație a materialului izolant. Impregnarea bobinajelor din conductor izolat cu email de ulei implică alegerea unor lacuri oleorășinoase, avînd ca solvent terebentina, care nu dizolvă emailul. La utilizarea unor lacuri pe bază de hidrocarburi (lacul 447), care pot ataca puternic emailul, trebuie aleasă o durată scurtă de cufundare în lac a obiectului; aceste lacuri se pot utiliza în deosebi cînd mai au peste stratul de email, un strat de bumbac sau mătase.

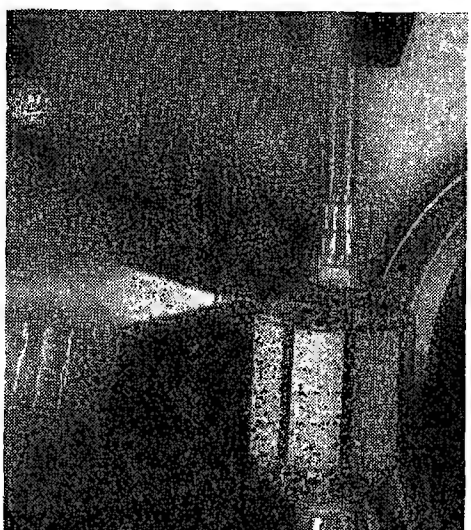


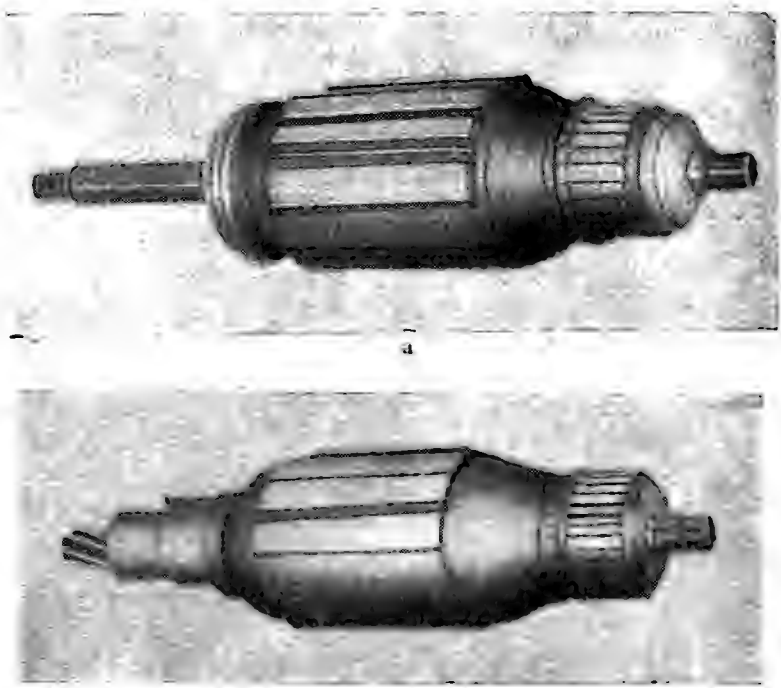
Fig. 10.167. Instalație de impregnare prin picurare.

Numărul de impregnări depinde de tensiunea mașinii și de regimul și condițiile de funcționare; astfel la mașinile de tensiune joasă se efectuează 2—4 impregnări, iar la mișinile de tracțiune — 3—5 impregnări.

Procedeele de impregnare cu indicarea tipului de lac și a temperaturilor de uscare, impregnare, acoperire și uscare sînt indicate în tabela 10.34 pentru diferite tipuri de bobine, funcționînd în diferite condiții.

În ultimii ani, pentru impregnarea mașinilor electrice de mică putere a fost introdusă o metodă nouă de lucru : impregnarea prin picurare (firma Dr. Beck GmbH — R.F.G.) care constă din aplicarea de rășini de impregnare (epoxidice) într-o stare vîscoasă (fără diluant) sub formă de picături direct pe înfășurare, așa cum este reprezentat în fig. 10.167. Prin rotirea piesei (rotor sau stator) ținută înclinat în

tot timpul turnării rășinii, se asigură atît umplerea golurilor din crestături cît și a interstițiilor din zona capului de bobină. După terminarea operației de picurare a rășinii (în componența căreia intră și un întăritor), se introduc piesele în cuptor la temperatura de 120 °C timp de 1—4 ore sau 24 ore la temperatura camerei.



a

b

Fig. 10.168. Rotoare ale mașinilor de curent continuu.

În fig. 10.168 sînt arătate două rotoare de motoare de mică putere, realizate de întreprinderea Electromotor-Timișoara, executate după procedeul clasic (*a*) care necesită bandajarea capetelor de bobină și după procedeul de impregnare prin picurare (*b*).

10.12.3. **Compundarea bobinelor**

Compundarea este o impregnare cu un amestec ce are ca bază bitumul lichid. Ea se aplică cu precădere bobinelor rigide care compun înfășurările mașinilor electrice de tensiune înaltă sau care funcțio-

nează în medii umede. Compunderea asigură pentru izolația mașinilor o mare rezistență la umiditate.

La fiecare fel de bitum folosit corespunde un anumit bitum solvent.

Compundarea se face în mediu de azot sub o presiune de 6—8 atmosfere la o temperatură care poate atinge valoarea de 165—175 °C. Uscarea prealabilă compundării se face de regulă cu vid înaintat peste 96% și la temperatura de 160—165 °C. Procesul tehnologic al unei singure compundării este de aproximativ 22 ore.

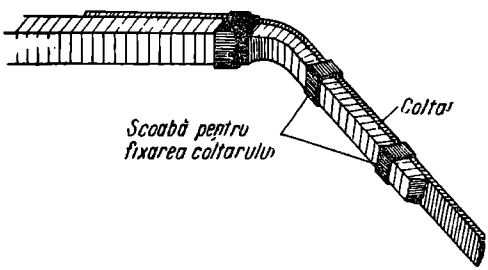


Fig. 10.169. Consolidarea capetelor de bobină prin colțare din tablă de oțel înainte de compundare.

Obiectele de compundat se usucă în prealabil și se consolidează în cazul cînd nu prezintă o rigiditate suficientă ; în fig. 10.169 se arată cum se fixează capătul de bobină cu ajutorul unui colțar de tablă.

O instalație de compundare are ca utilaj principal o autoclavă de impregnare (notată cu *1* în fig. 10.170) și una pentru topire și realizarea amestecului (notată cu *2*). Celelalte elemente ale instalației și anume rezervorul pentru compund, sistemul de încălzire, de răcire, pompele de vid și pompele de circulație, compresorul, condensorul etc. reprezintă utilaje auxiliare care asigură desfășurarea procesului de compundare. Datorită complexității procesului tehnologic și a instalației, asemenea utilaje se întîlnesc numai în fabricile mari constructoare de mașini electrice.

În fig. 10.171 este reprezentată diagrama procesului tehnologic de compundare indicîndu-se variația temperaturii, a presiunii și etapele în funcție de timp. Etapa de uscare preliminară este realizată în autoclavă.

După cum rezultă din fig. 10.171, procesul tehnologic de compundare decurge astfel : bobinele de compundat avînd temperatura de circa 30° se introduc în autoclava *1* care are o temperatură de 100 °C. Se închide etanș autoclava și se produce vid cu ajutorul pompelor *9* și *8*. Se introduce apoi azot la presiunea atmosferică și se menține astfel circa 2 ore. Între timp temperatura în interiorul autoclavei crește pînă la 160 °C, menținîndu-se apoi constantă.

Apoi este retras azotul din autoclavă realizîndu-se iarăși vid și menținîndu-se această situație circa o oră ; autoclava este umplută cu

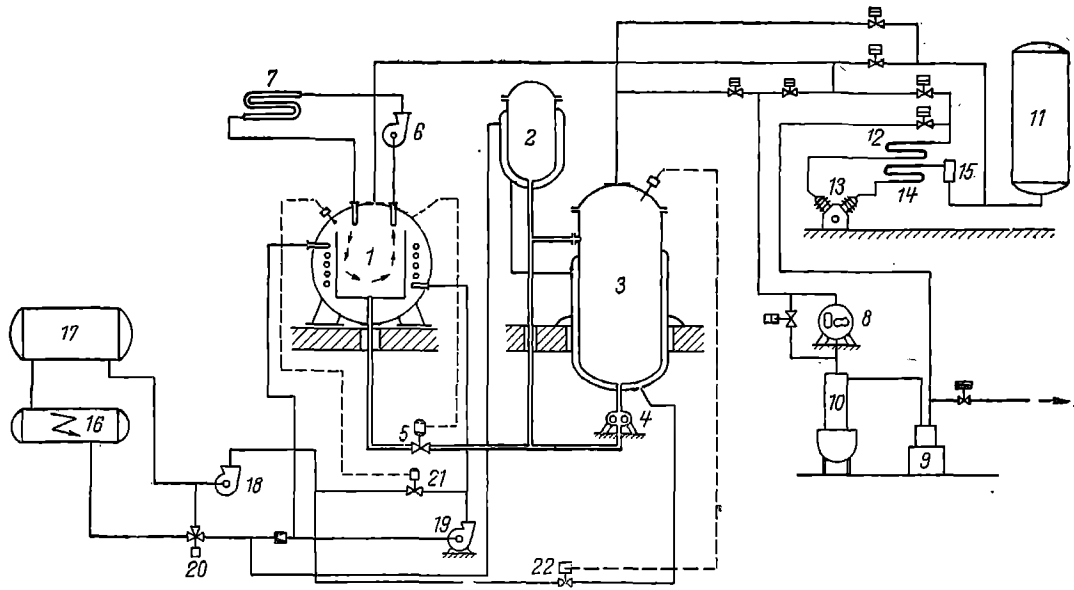


Fig. 10.170. Schema de principiu a unei instalații de compundare :

1 — autoclavă de impregnare; *2* — autoclavă pentru topirea compundului; *3* — rezervor pentru compund; *4* — pompă pentru circulația compundului; *5* — valvă pentru comanda lacului prin servomotor; *6* — ventilator; *7* — răcitor de circulație; *8* — pompă de vid; *9* — pompă de vid preliminar; *10* — răcitor intermediar; *11* — rezervor de azot; *12* — răcitor preliminar pentru compresorul de azot; *13* — compresorul de azot ; *14* — condensor ; *15* — separator de ulei; *16* — sistem central de încălzire; *17* — vas de expandare; *18* — pompă principală pentru alimentarea cu ulei; 19 — pompă pentru circulația uleiului; *20* —regulator de amestec; *21, 22* — supape de reglaj pentru temperatură.

compund prin deschiderea vanei *5* și cu ajutorul pompei *4*, după care se introduce din nou azot sub presiune ridicîndu-se presiunea azotului cu compresorul *13* pînă la 7—8 at. După 20—30 min compundul este retras din autoclavă și începe răcirea bobinelor.

La circa 3 ore de la realizarea presiunii este retras și azotul trimițîndu-se iar în rezervorul de azot *11* ; presiunea scade pînă la presiunea atmosferică. Între timp temperatura în autoclavă a ajuns la aproximativ 100 °C.

Se deschide autoclava și se scot bobinele, operația de compundare fiind încheiată.

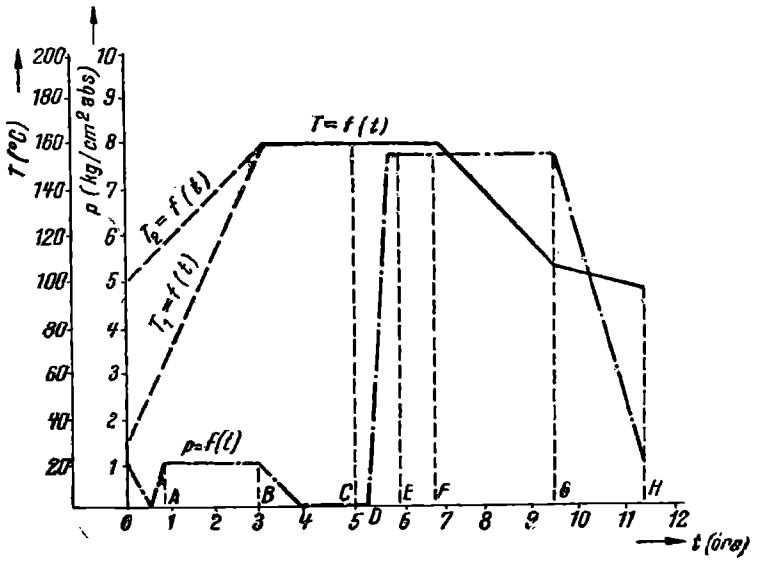


Fig. 171. Diagrama procesului tehnologic de compundare a bobinelor : *T* — temperatura; *p* — presiunea; *A* — umplerea cu azot a autoclavei sub vid; *B* — scoaterea azotului și vidarea autoclavei; *C* — introducerea compundului în autoclavă; *D* — introducerea azotului pînă la presiunea de impregnare; *E* — scoaterea compundului din autoclavă și depunerea lui în autoclava de topire; *F* — începerea răcirii înfășurărilor; *G* — scoaterea azotului din autoclavă; *H* — scoaterea înfășurărilor din autoclavă.

Durata etapelor procesului de compundare se alege funcție de dimensiunile bobinelor de grosimea izolației etc. În tabela 10.35 sînt indicate duratele diferitelor etape, etapa de uscare preliminară fiind realizată în autoclava de compundare.

Din tabelă rezultă că în cazul cînd numărul de straturi de mica-bandă este mai mare decît zece, se execută două sau trei compundări.

Tabela 10.35

Procedee de compundare pentru diferite tipuri de bobine

Nr. crt.	Tipul de bobine	Izolația	Regimi de uscare și compundare	Durata ore
1	Bobine polare	conductor izolat cu bumbac	Uscare la 150—170 °C Uscare în vid Compundare sub presiune	2 1/2 1/2—1
2	Bobine de stator de tensiune joasă	micabandă	Uscare în vid Compundare sub presiune	4 4
3	Bobine de stator de tensiune înaltă	3—6 straturi micabandă	Uscare la 150—170 °C Uscare în vid Compundare sub presiune	1 6 4
4	Idem	6—10 straturi micabandă	Uscare la 150—170 °C Uscare în vid Uscare sub presiune Uscare în vid Compundare sub presiune	2 5 1 6 5
5	Bobine de stator de tensiune înaltă	11—16 straturi micabandă	Două compundări ca mai sus, una după izolarea cu 5—8 straturi și a doua după izolarea definitivă	40
6	Idem	17—21 straturi micabandă	Trei compundări ca la nr. 4	60

10.13. STABILIREA DEFECTELOR ÎNFĂȘURĂRILOR REPARTIZATE LA MAȘINILE MONTATE

Defectele înfășurărilor se constată fie în timpul funcționării mașinii electrice datorită schimbării caracteristicilor de funcționare ale mașinii, fie cu prilejul verificării periodice a stării mașinii. De cele mai multe ori în cazul din urmă defectele existente nu scot mașina din funcțiune dar pot conduce la deteriorarea accentuată a acesteia, adică nu se iau măsuri de înlăturare a defectelor sesizate.

Principalele tipuri de defecte care se pot produce la înfășurările repartizate de curent continuu sau alternativ sînt asemenea celor care se pot produce la înfășurările concentrate ; astfel poate surveni întreruperea circuitului înfășurării într-unul sau mai multe puncte, scurtcircuite între spire, bobine sau faze, puneri la masă în urma deteriorării izolației înfășurării etc. Influența acestora asupra funcționării mașinii se manifestă întrucîtva diferit și pe baza acestui fapt se poate indica tipul defectului și chiar identifica locul defectului, sau se pot aduce precizări despre zona probabilă în care s-a produs deteriorarea izolației.

10.13.1. **Influența defectelor înfășurărilor asupra caracteristicilor de funcționare ale mașinilor electrice**

Pentru a stabili influența defectelor înfășurărilor asupra caracteristicilor de funcționare vom considera mai întîi cazurile simple, cînd se produce numai unul dintre defecte și într-un singur loc. În principal apariția defectelor conduce la micșorarea capacității de supraîncărcare a mașinii, la creșterea curenților prin circuitele în funcțiune și deci la încălziri medii ridicate și încălziri locale accentuate la micșorarea vitezei motoarelor de curent continuu și asincrone, la nesimetrii ale tensiunilor pe fază la generatoarele sincrone, la micșorarea randamentului mașinilor, la creșterea vibrațiilor mașinii etc.

În tabela 10.36 se arată inluența defectelor înfășurărilor asupra caracteristicilor de funcționare ale mașinilor electrice.

Influența întreruperii înfășurărilor indusului mașinilor de curent continuu și a înfășurărilor mașinilor de curent alternativ

În cap. 4 s-a stabilit că înfășurările indusului mașinilor de curent continuu au cel puțin două căi de curent. La întreruperea uneia din căile de curent, curentul din indus se închide prin celelalte căi (în care s-a presupus că înfășurarea în inel a indusului prezintă o întrerupere) ; în cazul înfășurării din rotor a mașinii bipolare reprezentate în fig. 10.172 se constată o creștere a curentului de la $I/2$ la I pe calea de curent neîntreruptă și deci o creștere a pierderilor produse în această cale de curent. Pierderile în înfășurare sînt $p=RI^2$; curentul total I prin mașină a rămas același sau a crescut chiar, însă rezistența R a înfășurării, a crescut de două ori, deoarece în cazul întreruperii, rezistența înfășurării indusului este egală chiar cu rezistența unei căi de curent (la mașina normală rezistența înfășurării era

Tabela 10.36

Influența defectelor asupra caracteristicilor de funcționare ale mașinilor

Nr. crt.	Defectul	Tipul mașinii	Schimbările care se produc asupra caracteristicilor de funcționare
1	Întreruperea înfășurării indusului	Motor de curent continuu	Scade viteza motorului la aceeași sarcină, crește încălzirea mașinii, apar vibrații și se produc scîntei ritmice succesive la perii
2	Întreruperea înfășurării indusului	Generator de curent continuu	Scade tensiunea la borne la același curent prin indus, crește încălzirea rotorului, apar vibrații și se produc scîntei ritmice succesive la perii
3	— — rotorului	Motor asincron trifazat	La funcționarea în sarcină se constată oscilații ale curenților din rețea, frecvența de oscilație fiind dublul frecvenței de alimentare La pornirea în sarcină motorul ajunge la o viteză pe jumătate din viteza nominală ; pierderile în rotor cresc inadmisibil
4	— unei faze din stator	Motor asincron trifazat	Motorul rămîne în două faze : valoarea cuplului maxim al motorului scade la 0,66 din valoarea cuplului mașinii trifazate ; cresc curenții, crește încălzirea mașinii. Viteza scade
5	— — — — —	Generator sincron avînd conexiunea Δ în indus	Tensiunea la borne formează un sistem trifazat simetric la funcționarea în gol ; în sarcină au valori inegale
6	— — — — —	Generator sincron avînd conexiunea Y în indus	Tensiunea la borne se produce numai între fazele care au continuitatea circuitului

Tabela 10.36 (continuare)

Nr. crt.	Defectul	Tipul mașinii	Schimbările care se produc asupra caracteristicilor de funcționare
7	Scurtcircuitarea unor secții (sau a unor bobine) din indus	Motor de curent continuu	Crește curentul prin indus foarte mult, o dată cu creșterea numărului de secții scurtcircuitate. Încălzirea înfășurării crește. La pornire rotorul rămîne lipit într-o poziție. La colector se produc scîntei cu intensificări ritmice, succesive
8	— — — — —	Generator de curent continuu	Cresc pierderile în generator și totodată și încălzirea. Tensiunea la borne scade în funcție de numărul de spire scurtcircuitate. La colector se produc scîntei cu intensificări ritmice succesive
9	— — — — —	Motor asincron	Caracteristicile nominale nu se schimbă. La motorul asincron cu inele nu se mai poate face reglajul vitezei cu aceleași utilaje în aceleași limite
10	— — — — stator	Motor asincron	Curenții celor trei faze sînt nesimetrici și încălzirea mașinii crește. Scad performanțele mașinii (viteza, cuplul și randamentul). Se produc încălziri locale suplimentare.
11	— — — — stator	Generator sincron	Tensiunea indusă în faza scurtcircuitată scade. Se produc încălziri locale
12	Punerea la masă în mai multe puncte a înfășurărilor	Toate tipurile	Se produc efecte comparabile cu cele de la scurtcircuitarea unor porțiuni de înfășurare. În plus apare pericolul electrocutării și perlarea lagărelor cu scoaterea lor prematură din funcțiune

egală cu jumătate din rezistența unei căi de curent). Creșterea pierderilor în înfășurare conduce la creșterea încălzirii acesteia.

Creșterea curentului pe calea de curent mai conduce și la creșterea căderii de tensiune RI în înfășurare și deci la micșorarea tensiunii la bornele generatoarelor electrice, respectiv la scăderea vitezei motoarelor.

Forțele F care se exercită asupra conductoarelor parcurse de curent situate în cîmpul magnetic inductor sînt repartizate neuniform pe periferia rotorului ; astfel în fig. 10.172 numai conductoarele din porțiunea de jos a înfășurării sînt parcurse de curent și numai asupra lor se exercită forțe. Forța rezultantă are două componente : o componentă tangențială F_t care produce cuplul în mașină și una normală F_n care în cazul considerat atrage indusul spre polul inductor sud.

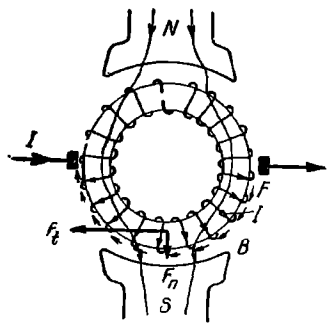


Fig. 10.172. Înfășurarea întreruptă a indusului mașinii bipolare de curent continuu.

O dată cu învîrtirea rotorului întreruperea înfășurării trece în partea de jos dinspre polul inductor sud și atunci numai porțiunea de sus a înfășurării este parcursă de curent și rotorul este atras spre polul nord.

Întreruperea înfășurării își schimbă însă poziția față de poli la fiecare rotație a indusului și deci sensul forței F_n variază cu frecvența $\frac{n}{60}$, n fiind turația motorului în rot/min. Forța F_n produce astfel vibrații ale rotorului și mărește săgeata de încovoiere a axului.

Întreruperile înfășurărilor repartizate de curent alternativ sînt însoțite de efecte asemănătoare. În plus apare nesimetria tensiunilor la bornele înfășurărilor. Întreruperea circuitului unei faze la înfășurarea trifazată cu o singură cale de curent, transformă mașina, trifazată avînd conexiunea Y într-o mașină monofazată (fig. 10.173) ; la mașina trifazată cu conexiunea Δ, la funcționarea în gol nu se resimte întreruperea înfășurării de fază, însă o dată cu creșterea sarcinii curenții celor trei faze sînt nesimetrici și inegali (fig. 10.174).

La motorul asincron trifazat cu rotorul bobinat și avînd o singură cale de curent în rotor, întreruperea unei faze în rotor are următorul efect : la pornirea în sarcină, viteza crește numai pînă la jumătate din viteza nominală, datorită cîmpului alternativ pe care îl produce rotorul cu o fază întreruptă. Curenții au valori ridicate și funcționarea mașinii în acest regim nu este permisă din cauza încălzirilor mari

care se produc. Fenomenul nu se manifestă atît de pronunţat în cazul cînd în circuitul rotorului este conectată o rezistenţă mare.

La întreruperea unei faze în statorul motorului asincron trifazat avînd conexiunea Y, motorul se comportă ca un motor monofazat, cuplul maxim scade la 0,66 din valoarea sa, viteza scade iar curenţii prin fazele neîntrerupte cresc la valori mari producînd încălziri nepermise dacă maşina funcţionează la sarcina nominală. Fenomenele sînt analoge şi generatoarele sincrone trifazate.

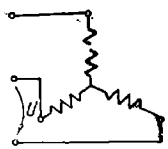


Fig. 10.173. Înfăşurare trifazată conectată în stea, cu o singură cale de curent şi avînd o fază întreruptă.

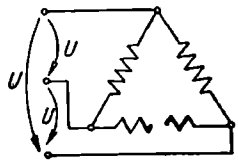


Fig. 10.174. Înfăşurare trifazată conectată în triunghi, cu o singură cale de curent şi avînd o fază întreruptă.

În tabela 10.36 se indică efectele pe care le au întreruperile înfăşurării într-un singur loc asupra caracteristicilor de funcţionare ale diferitelor maşini.

Întreruperea unei căi de curent la înfăşurările cu mai multe căi de curent conduce la efecte asemănătoare, însă mai puţin pronunţate.

Influenţa scurtcircuitării parţiale a înfăşurărilor indusului maşinilor de curent continuu şi a înfăşurărilor maşinilor de curent alternativ

Calea de curent care cuprinde secţii sau spire scurtcircuitate va avea o rezistenţă redusă iar la bornele sale se va induce o tensiune electromotoare mai mică. Curentul prin această cale de curent va creşte la toate motoarele. Nesimetria curenţilor prin celelalte căi de curent sau faze creşte cu atît mai pronunţat cu cît este mai mare porţiunea de înfăşurare scurtcircuitată.

În porţiunea de înfăşurare scurtcircuitată se induc tensiuni şi apar curenţi periculoşi pentru porţiunea de înfăşurare, putînd conduce la topirea conductorului, la deteriorarea izolaţiei în zona respectivă şi la punerea la masă a înfăşurării.

De remarcat că scurtcircuitarea unei porțiuni de înfășurare a rotorului mașinii asincrone nu influențează performanțele mașinii, cînd această înfășurare este normal conectată în scurtcircuit. În schimb în acest caz nu se mai poate efectua reglajul în limite largi prin introducerea unei rezistențe în rotor.

În tabela 10.36 sînt indicate și efectele pe care le au scurtcircuitele porțiunilor de înfășurare asupra caracteristicilor mașinilor.

Influența punerii la masă a înfășurării

O singură punere la masă a înfășurării nu are un efect asupra caracteristicilor de funcționare ale mașinilor ; poate prezenta în schimb un pericol pentru oamenii care vin în atingere cu mașina în funcțiune.

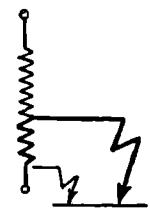


Fig. 10.175. Punere dublă la masă, echivalentă cu un scurtcircuit în înfășurare.

Punerea la masă a unei căi de curent în două puncte (fig. 10.175) este identică cu scurtcircuitarea unei porțiuni de înfășurare iar efectele sînt cele care se produc la scurtcircuitarea înfășurărilor. În plus prezintă pericolul de electrocutare pentru persoanele care vin în atingere cu mașina.

Deoarece curenții de scurtcircuit în cazul punerilor la masă se închid prin carcasă, prin rotor etc., se poate produce perlarea și încălzirea lagărelor și scoaterea lor prematură din funcțiune.

Nu întotdeauna avem de a face cu o punere directă la masă a înfășurărilor ; de cele mai multe ori rezistența de izolație este mult sub limita admisibilă. În acest caz cu toate că nu se resimte imediat o schimbare a caracteristicilor de funcționare ale mașinii, totuși randamentul scade și încălzirea mașinii poate să crească datorită pierderilor care se produc în izolație.

10.13.2. Stabilirea tipului de defect, a locului defectului și înlăturarea acestuia

Un prim indiciu asupra locului și tipului de defect îl constituie modificările observate în caracteristicile de funcționare ale mașinii. Vibrațiile, încălzirea, scînteile la colector, micșorarea vitezei motoarelor, scăderea tensiunii la bornele generatoarelor, creșterea curenților prin circuitele de alimentare a mașinilor sînt simptomele unor defecte.

Pentru a preveni apariția defectelor s-au introdus norme de verificarea periodică a mașinilor electrice în exploatare în scopul deter-

minării din vreme a locurilor defecte și al înlăturării posibilității apariției defectelor. Astfel prin încercări de control se pot determina punctele slabe ale înfășurării, predispuse la defecte și se pot lua măsuri de întărire a izolației și de separare a înfășurării în zonele periclitate.

De subliniat că cercetarea pentru găsirea defectului, în cazul în care nu se dispune de date certe, începe cu examinarea părților celor mai accesibile ale mașinii : placa de borne, conductoarele de legătură, colectorul, capetele de bobină și apoi se trece la studierea înfășurării ; majoritatea defectelor se produc de obicei în aceste zone și înlăturarea lor este relativ simplă.

O dificultate mai mare la înfășurările repartizate o constituie faptul că înfășurările sînt așezate în crestături, unde accesul pentru observare directă și control este mai greu, fără a nu recurge adeseori la înlocuirea înfășurării în zona respectivă.

Se întîmplă uneori ca defectul să nu apară decît la funcționarea mașinii. Identificarea locului defect se face în acest caz observînd în special încălzirea mașinii.

Defectele în înfășurările rotoarelor mașinilor de curent continuu

Scurtcircuitele înfășurării indusului se pot identifica și localiza pe calea indicată în § 10.10, prin metoda milivoltmetrului ; în cazul cînd secția sau porțiunea de înfășurare este scurtcircuitată în interiorul crestăturilor, se identifică crestăturile în care se află această secție cu ajutorul unui electromagnet după descrierea din § 10.10. După stabilirea crestăturilor în care se află secția scurtcircuitată se poate trece la scoaterea bobinei și executarea unei noi bobine. Deoarece înfășurările mașinilor de curent continuu sînt executate aproape totdeauna în două straturi, înlocuirea bobinei defecte se face prin coasere (introducerea axială conductor cu conductor).

Întreruperile înfășurării indusului se pot identifica îndeosebi prin metoda milivoltmetrului. În timpul funcționării mașinii în cazul unei întreruperi apare o scînteiere intensă de culoare verde caracteristică arderii cuprului, în timp ce în cazul unui contact imperfect scînteierea nu este atît de intensă. Adeseori este suficientă observarea directă a colectorului. Locul întreruperii este marcat de înnegrirea a două lamele de colector în urma scînteilor care se produc la trecerea lamelelor (între care se află defectul) pe sub perie. De cele mai multe ori întreruperea se produce fie la mufele racordurilor la colector, da-

torită contactului imperfect sau a lipiturii defectuoase fie sub bandajul de strîngere, în urma presiunii bandajului asupra legăturilor la colector.

La prezența legăturilor echipotențiale, în afara lamelelor legate la secțiile defecte se mai înnegresc și lamelele de colector decalate față de cele defecte la o distanță egală cu dublul pasului polar cu care sînt legate acestea prin legături echipotențiale.

Secțiile sau conductoarele întrerupte trebuie înlocuite.

Atingerea înfășurării rotorului sau a colectorului la masă. Locul atingerii directe la masă se detectează prin metoda următoare: se alimentează înfășurarea prin două lamele de colector situate diametral la înfășurările buclate, sau la un pas polar la înfășurările ondulate; de la o sursă *B* de curent continuu (fig. 10.176) conectînd în serie un ampermetru *A*, un reostat de reglaj *R* și un întrerupător *K*. Milivoltmetrul *mV* are o bornă legată de axul mașinii, iar cealaltă bornă se leagă succesiv lalamelele colectorului. Pe măsură ce ne apropiem de locul defectului căderea tensiunii măsurată de milivoltmetru scade. Zonele de punere la masă trebuie izolate; punerile la masă în interiorul secției necesită înlocuirea izolației întregii secții sau chiar înlocuirea ei. Scăderea rezistenței de izolație datorită umezirii se înlătură prin uscarea înfășurării.

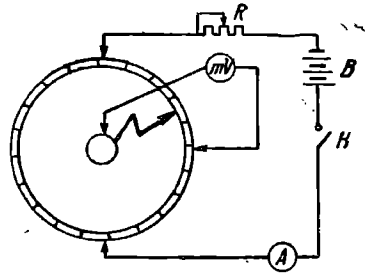


Fig. 10.176. Determinarea punerii la masă a înfășurării indusului mașinilor de curent continuu.

În cazul îmbătrînirii izolației apar dese puneri la masă și este necesară rebobinarea mașinii.

O soluție provizorie pentru cazul scurtcircuitului sau întreruperii unei secții constă în izolarea secției, care se face astfel:

— se dezlipesc capetele secției de la cele două lamele cu care este legată;

— lamelele de la care s-a dezlipit secția se conectează între ele printr-o punte conductoare;

— în cazul cînd secția are o punere la masă se izolează capetele secției și se lasă în continuare în mașină;

— în cazul cînd secția are spire în scurtcircuit, atunci este necesară scoaterea acestor spire spre a nu se încălzi și a nu conduce la avarierea progresivă a mașinii; în locul spirelor scoase se pot introduce pene izolante.

De remarcat că scoaterea secției ar putea conduce la dezechilibrarea mașinii.

Defectele în înfășurările de curent alternativ

Și în înfășurările de curent alternativ se pot produce întreruperi, scurtcircuite sau puneri la masă. Apariția prematură a defectelor poate constitui un indiciu că mașina poate fi recondiționată ; apariția defectelor la mașinile vechi este o consecință a îmbătrînirii izolației înfășurării.

Scurtcircuite în înfășurările de curent alternativ. Acest defect se poate produce între spire, între bobine, sau chiar o fază poate fi scurtcircuitată. Identificarea fazei în care are loc scurtcircuitul se face observînd curenții prin conductoarele de alimentare ale înfășurărilor.

Astfel la conexiunea stea a înfășurării, curentul este mai mare pe faza care prezintă scurtcircuite. La conexiunea triunghi curenții sînt mai mari prin conductoarele de linie care încadrează faza defectă.

După ce se demontează mașina se examinează atent înfășurarea. Bobina scurtcircuitată poate prezenta urme de încălzire exagerată : astfel, izolația este răscoaptă, are o culoare mai închisă decît celelalte bobine. Eventual, în zona în care înfășurarea este scurtcircuitată se găsesc perle de conductor topit și izolație carbonizată.

Dacă la demontarea mașinii nu se observă direct nici o urmă de defect se alimentează înfășurarea de la o sursă de tensiune coborîtă spre a nu se depăși curenții nominali și se palpează înfășurarea pentru a stabili care sînt secțiile care se încălzesc. Locul defectului se precizează prin observarea zonei în care începe să fumege înfășurarea defectă.

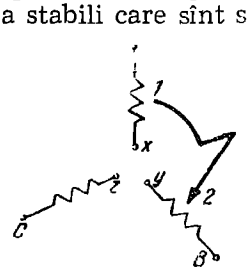


Fig. 10.177. Identificarea scurtcircuitului între faze.

Măsurile care se iau sînt funcție de starea izolației. Bobinele care au izolația răscoaptă se înlocuiesc ; dacă scurtcircuitul nu a condus la îmbătrînirea izolației și locul defect este accesibil se recurge la izolarea locală a porțiunii defecte prin bandajarea cu o izolație corespunzătoare.

Scurtcircuitele între faze se identifică în mod asemănător ; se mai poate aplica și metoda divizării înfășurării măsurînd rezistența dintre diferitele porțiuni de înfășurare. Astfel, se desfac legăturile stea sau triunghi de la cutia de borne, lăsînd libere capetele înfășurării ; se măsoară apoi rezistența dintre capete, efectuînd toate combinațiile și anume se măsoară, spre exemplu în cazul înfășurării din fig. 10.177, rezistențele între bornele *A—B*, *A—y*, *B—x* și *x—y*, precum și rezistențele fazelor *Ax* și *By*. În cazul în care rezistența locului de atingere este mică sau comparabilă cu rezistența înfășurărilor, se poate determina cu precizie locul defectului. Notăm cu *r* rezistența necu-

noscută a locului de atingere și cu R rezistența pe fază a înfășurării, R_{AB}, R_{Ay}, R_{Bx} și R_{xy} rezistențele măsurate între borne. Din acestea se pot calcula rezistențele R_{A_1}, R_{B_2} și r, putînd să determinăm astfel distanța de la borna A la locul defectului și de la borna B la locul defectului. Astfel :

$$r = \frac{R_{AB} + R_{Ay} + R_{xB} + R_{xy}}{4} - R ; \qquad (10.72\ a)$$

$$R_{A_1} = \frac{R_{AB} + R_{Ay} - R_{xB} - R_{xy}}{4} + R ; \qquad (10.72\ b)$$

$$R_{B_2} = \frac{R_{AB} + R_{xB} - R_{Ay} - R_{xy}}{4} + R. \qquad (10.72\ c)$$

Rapoartele R_{A_1}/R și R_{B_2}/R ne dau zona în care fazele Ax și By au atingere între ele.

Întreruperea înfășurării. Locul întreruperii se stabilește din aproape în aproape, măsurînd cu megohmmetrul sau cu o punte pentru măsurarea rezistenței, valoarea rezistenței ; astfel se măsoară mai întîi fazele : pe faza defectă instrumentul va indica o rezistență foarte mare. Se procedează apoi la fel în continuare cu fiecare jumătate a înfășurării defecte.

Punerea la masă a înfășurării. Locul punerii la masă se poate identifica printr-un procedeu asemănător celui descris la atingerea între două faze, prin măsurarea rezistenței dintre fiecare capăt al înfășurării care are o punere la masă față de carcasă sau față de ax, după cum înfășurarea este montată în stator sau în rotor.

Zonele defecte trebuie remediate fie prin înlocuirea elementului de înfășurare, fie prin înlocuirea izolației la fața locului dacă defectul nu este prea accentuat.

10.14. ECHILIBRAREA ROTOARELOR

Echilibrarea rotoarelor se face în scopul de a se evita vibrațiile în funcționarea mașinii.

Vibrațiile sînt caracterizate prin amplitudinea și frecvența lor și se măsoară cu ajutorul unor aparate speciale, denumite vibrometre, respectiv vibrografe.

Dezechilibrul rotorului se manifestă nu numai în stare de mișcare (dezechilibru dinamic), ci și în stare de repaus (dezechilibru static).

Pentru înlăturarea dezechilibrului rotoarelor, se efectuează măsurători în vederea realizării și stabilirii mărimii dezechilibrului ; apoi se trece la operația de echilibrare, care constă în adăugarea unor greutăți pentru compensarea dezechilibrului.

10.14.1. Echilibrarea statică

Echilibrarea statică a motoarelor se execută asupra tuturor motoarelor și poate fi considerată ca fiind suficientă la mașinile cu o turație redusă (pînă la 1 000 rot/min), la care vitezele periferice nu depășesc 20 m/s, iar raportul dintre lungimea rotorului și diametru este sub 1/6. Echilibrarea statică se efectuează cu ajutorul unui dispozitiv care se compune în esență din două prisme (cuțite) perfect orizontale *1* așezate pe suportul *2* (fig. 10.178).

Echilibrarea statică se execută astfel : rotorul așezat pe dispozitive este învîrtit manual în ambele sensuri, scoțîndu-l din poziția lui de echilibru. Se urmăresc oscilațiile rotorului și se adaugă greutăți de compensare pînă se obține starea de echilibru indiferent, în care rotorul se oprește în urma învîrtirii în oricare poziție, fără a căuta să revină într-o poziție privilegiată.

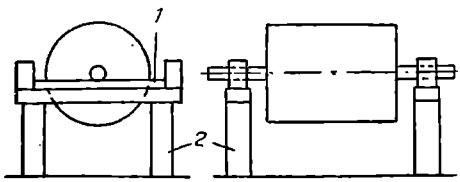


Fig. 10.178. Dispozitiv pentru echilibrarea statică a rotoarelor.

Pentru ușurința stabilirii locului de așezare a greutăților de compensare se aplică mai întîi bucăți de chit, în final acestea fiind înlocuite cu greutăți permanente prinse prin buloane, garnituri ce se fixează de juguri de presare, suporți de înfășurare și uneori în aceste piese se perforează orificii în care se introduc greutăți de plumb. Echilibrarea se poate realiza și prin executarea unor găuri în partea opusă a rotorului față de locul în care s-au fixat provizoriu greutățile de compensare.

În construcția unor mașini electrice se prevăd în zonele frontale ale rotoarelor canale în care se pot monta greutăți pentru echilibrare ; forma acestor greutăți este reprezentată în figura 10.179.

Greutățile permanente se fixează în locurile cele mai accesibile.

Este recomandabil să se evite echilibrarea prin adăugarea de cositor pe bandaje, deoarece în timpul funcționării mașinii, cositorul se poate topi sau desprinde producînd dezechilibrarea mașinii.

Dacă greutatea P_1 trebuie fixată față de axa mașinii la o altă distanță r_1 decît distanța r stabilită pentru greutatea provizorie P, valoarea greutății P_1 se determină cu relația :

$$P_1 = \frac{Pr}{r_1}. \quad (10.73)$$

Dacă din considerente constructive greutatea permanentă nu poate fi aplicată pe direcția razei greutății, atunci greutatea permanentă provizorie se înlocuiește cu două greutăți așezate în cele două puncte unde fixarea greutăților va fi posibilă.

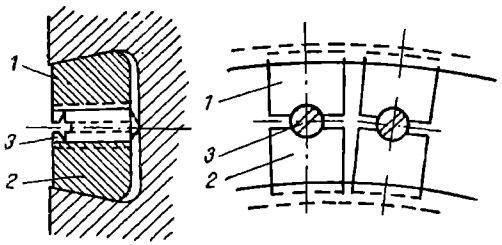


Fig. 10.179. Greutăți pentru echilibrarea rotoarelor — formă constructivă :
1, 2 — greutăți; *3* — șurub de fixare.

Determinarea valorilor greutăților P_1 și P_2 ce urmează a înlocui greutatea provizorie P se face cu ajutorul regulei paralelogramului, așa cum se reprezintă în fig. 10.180. Luînd la scară distanța față de ax a greutăților P, P_1 și P_2 egală cu greutatea P, segmentele OP_1 și OP_2 sînt egale la aceeași scară cu greutățile P_1 și P_2.

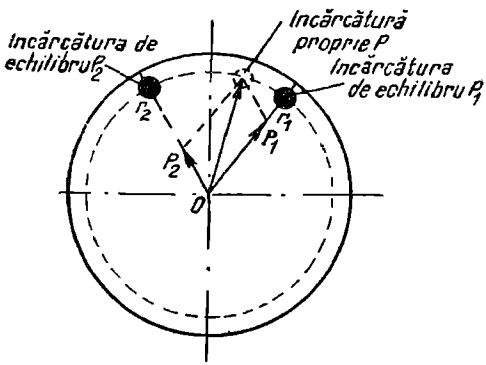


Fig. 10.180. Regula paralelogramului.

Poziția pe care trebuie s-o ocupe greutățile de echilibrare se deduce din poziția semnelor marcate de creion sau trasator. Trebuie să se țină seamă de faptul că, la turația nominală, semnele marcate apar de partea surplusului de material, iar viteza de rotație critică apare cu 90° întîrziere față de sensul de rotație. În primul caz, greutățile de echilibrare se vor monta de partea opusă semnelor, iar în al doilea caz, acestea se vor monta cu 90° în urma semnelor.

Valoarea acestor greutăți urmează să se determine experimental, prin încercări.

Dacă greutățile permanente nu se pot monta pe circumferința greutății provizorii, se determină mai întîi mărimea greutăților per-

manente în ipoteza situării lor pe aceeași circumferință și după aceea se recalculează mărimea fiecărei greutăți conform formulei date mai sus.

Cînd numărul greutăților de echilibrare provizorie este mai mare decît unu, numărul lor se poate reduce folosind în sens invers metodele indicate.

Pentru asigurarea unei echilibrări statice bune, în cazul rotoarelor lungi, greutățile permanente se aplică la ambele extremități ale rotorului, în fiecare parte fiind așezată cîte o jumătate din greutățile rezultate ca necesare.

În cazul rotoarelor al căror ax are diametre diferite la cele două excentrități, pentru mărirea sensibilității lucrului și eliminarea frecărilor suplimentare ce apar în rostogolirea rotorului pe cuțite, se folosesc bucșe de diametru apropiat cu diametrul cel mai mare al axului pe cuțite, bucșe care se montează pe arborele de diametru mic.

Pentru echilibrarea statică se folosesc și dispozitive care au în locul prismelor de oțel (cuțitelor), o pereche de discuri de fiecare parte a axului.

La aceste dispozitive se evită apariția forțelor de frecare chiar la diametre diferite ale axului la cele două părți.

10.14.2. **Echilibrarea dinamică**

Echilibrarea dinamică este obligatorie pentru toate rotoarele care au o turație de peste 1 500 rot/min și pentru toate rotoarele de lungime mare. Orice echilibrare dinamică trebuie să fie precedată de o echilibrare statică.

În general echilibrarea dinamică se face cu ajutorul dispozitivelor speciale sau a mașinilor de echilibrare dinamică, la viteza de rotație critică la care se poate stabili cu suficientă precizie poziția și mărimea greutății care produce dezechilibrul.

Metodele uzuale pentru echilibrarea dinamică a rotoarelor sînt următoarele :

— metoda parcurgerii cu greutatea de probă,

— metoda trasării semnelor.

Metoda parcurgerii cu greutatea de probă constă în măsurarea amplitudinilor vibrațiilor la viteza de rotație minimă a rotorului în starea normală și în urma aplicării unei greutăți „de probă" în anumite puncte alese dinainte pe periferia rotorului (de exemplu în canalele prevăzute pentru greutățile de echilibrare), așa cum este reprezentat în fig. 10.181, *a*. Valorile amplitudinilor vibrațiilor măsurate se înscriu într-o diagramă (fig. 10.181, *b*) punctele de pe axa ordonatelor cores-

punzînd pozițiilor punctelor notate pe periferia rotorului. Punctul a' de pe axa ordonatelor care corespunde amplitudinii vibrației minime în timpul încercărilor indică locul unde trebuie aplicată greutatea de echilibrare. Valoarea greutății necesare pentru echilibrare se determină experimental sau prin calcul, cu ajutorul relației

$$Q = Q_p \frac{a'a''}{aa''}, \tag{10.74}$$

în care Q_p este valoarea greutății de probă.

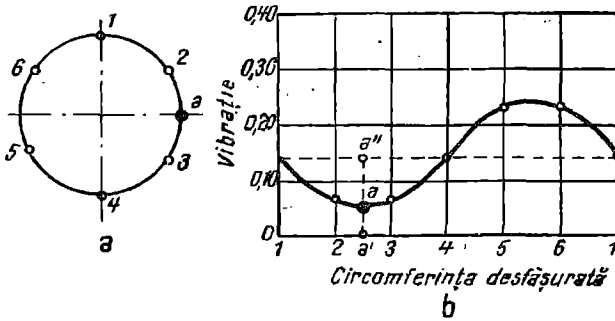


Fig. 10.181. Diagramă la metoda parcurgerii cu greutatea de probă.

Valoarea greutății de probă se alege în așa fel încît să se obțină o diferență sensibilă a amplitudinii oscilațiilor, fiind limitată de producerea vibrațiilor periculoase. Valoarea greutății de probă se poate determina aproximativ cu relația

$$P = 0{,}10 + 0{,}23 \frac{G_1 g}{\omega^2 r}, \tag{10.75}$$

în care :

P este valoarea greutății de probă, în kg ;
G_1 — sarcina pe paliere dată de greutatea rotorului, în kg ;
g — 9,81 m/s² ;
$\omega = \frac{\pi n}{30}$ — viteza de rotație unghiulară ;
n — turația mașinii, în rot/min ;
r — raza de fixare a greutății de probă, în m.

Pentru echilibrarea în cealaltă parte frontală a rotorului se procedează în mod similar. Pentru a se evita apariția unei dezechilibrări

în cealaltă parte, greutatea de echilibrare Q_2 din partea a doua trebuie să fie descompusă în două componente X și Y:

$$X=Q_2\frac{mn}{mn-ab}; \quad Y=Q_2\frac{am}{mn-ab}, \tag{10.76}$$

unde a, b, m și n au semnificațiile din fig. 10.182.

Greutatea X se aplică în locul Q_2, iar greutatea Y se fixează pe cealaltă parte frontală a rotorului într-un punct diametral opus greutății X. Greutatea de echilibrare Q_1, aplicată la echilibrarea primei părți poate fi însumată după regula paralelogramului cu greutatea Y (vezi echilibrarea statică) și astfel ambele greutăți se vor înlocui printr-una singură Q_1'.

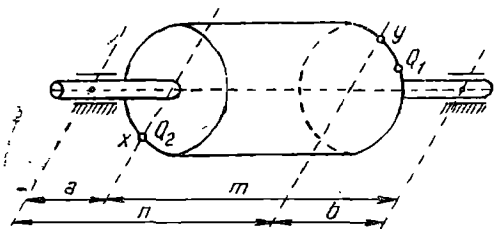


Fig. 10.182. Descompunerea dezechilibrului în două plane perpendiculare.

Metoda trasării semnelor constă în următoarele: pe cele două părți ale axului în apropierea palierelor, pe suprafața netedă și bine prelucrată acoperită cu cretă (în emulsie de apă sau benzină), în timpul mișcării motorului, se trasează semne cu un creion colorat bine ascuțit montat pe un suport rigid separat de piesele oscilante, sau cu un trasator ascuțit montat în locul creionului. Semnele reprezintă punctele de amplitudine maximă a vibrațiilor. Poziția pe care trebuie s-o ocupe greutățile de echilibrare se deduce din poziția semnelor marcate de creion sau trasator. Trebuie să se țină seama de faptul că, la turația nominală, semnele marcate apar de partea surplusului de material, iar la viteza de rotație critică apare cu 90° întîrziere față de sensul de rotație. În primul caz greutățile de echilibrare se vor monta pe partea opusă semnelor, iar în al doilea caz acestea se vor monta cu 90° în urma semnelor. Valoarea acestor greutăți urmează să se determine experimental prin încercări.

10.14.3. **Gradul de echilibrare al rotoarelor**

În practică nu se poate obține reducerea completă a dezechilibrului, respectiv a vibrațiilor. De aceea normele indică valoarea maxim admisibilă a vibrațiilor. Aceasta depinde de turația mașinii: cu cît viteza de rotație a mașinii este mai mare, cu atît mărimea vibrațiilor admisă este mai mică.

În tabela 10.37 sînt date valori indicative pentru vibrațiile mașinilor electrice în gradele de echilibrare : perfect, bine și admisibil, după norme provizorii ale uzinei Electrosila — Leningrad (U.R.S.S.).

Tabela 10.37

Valori indicative pentru vibrațiile mașinilor electrice (după norme provizorii ale uzinei Electrosila — U.R.S.S.)

Tipul mașinilor	Vibrația (în mm) pentru o echilibrare		
	perfectă	bună	admisibilă
Mașini cu puteri peste 100 kW, turație nominală 1 000 rot/min	0,04	0,07	0,10
Mașini cu puteri peste 100 kW, turație nominală 1 500 rot/min	0,03	0,06	0,09
Mașini cu puteri pînă la 100 kW, turații nominale 1 000 și 1 500 rot/min	0,01	0,03	0,05
Toate mașinile electrice cu turații nominale 3 000 rot/min			

Trebuie reținut faptul că executarea echilibrării rotoarelor formează una dintre cele mai importante operații în fabricarea mașinilor electrice noi și la repararea mașinilor, o bună echilibrare asigură înlăturarea apariției defectelor în funcționarea mașinii electrice și în ansamblu a agregatului din care face parte.

11. Utilajele și organizarea atelierului de bobinat mașini electrice de puteri mici și mijlocii

Calitatea lucrărilor efectuate de atelierul de bobinat și de reparat mașini electrice depinde în bună măsură și de felul în care este organizată munca în atelier, de utilajele și aparatele de măsură și control cu care este dotat, de calitatea materialelor conductoare și izolante utilizate în atelier.

Dimensiunile şi caracteristicile utilajelor şi aparatelor de măsură utilizate într-un atelier depind în special de caracteristicile maşinilor electrice care se rebobinează sau care necesită repararea înfăşurărilor. În acest capitol se prezintă principalele utilaje şi aparate de măsură utilizate în atelierele de rebobinat maşini electrice de puteri mici şi mijlocii ; maşinile mari de puteri peste 500 kW la tensiuni înalte de 3 000 sau 6 000 V se rebobinează fie de fabrica constructoare, fie de unităţi specializate în repararea maşinilor de puteri mari şi tensiuni ridicate, care dispun de utilajul mai complicat pe care îl necesită procesul tehnologic al acestor înfăşurări.

11.1. APARATE DE MĂSURĂ, INSTALAŢII AUXILIARE ŞI DISPOZITIVE NECESARE LA EXECUTAREA ŞI ÎNCERCAREA ÎNFĂŞURĂRILOR MAŞINILOR ELECTRICE

Pentru identificarea defectelor înfăşurărilor, cît şi pentru verificarea maşinilor în funcţiune, a maşinilor la intrarea lor în reparaţie, precum şi a înfăşurărilor rebobinate, este necesar ca atelierul să dispună de un număr minim de aparate de măsurat, de dispozitive auxiliare şi de instalaţii portabile. Fără a se cere ca atelierele să execute toate încercările industriale ale maşinilor electrice, care ar necesita platformele şi utilajul complex întîlnit în marile fabrici constructoare de maşini electrice, cu acest minim de instrumente se pot efectua încercările necesare la rebobinare sau reparaţii şi se pot măsura principalele caracteristici ale înfăşurărilor maşinilor.

Aparatele de măsură cunoscute în general, strict necesare pentru un atelier electric, sînt următoarele :

Aparatul de măsură universal utilizat pentru măsurarea tensiunii şi curentului (cunoscut sub denumirea comercială de AVOMET sau MULTIZET sau MULTAVI), care serveşte la măsurarea acestor mărimi atît în curent continuu, cît şi în curent alternativ. Aparatul este construit pentru a se măsura tensiuni continue sau tensiuni alternative (sinusoidale) şi are şapte domenii de măsură, cu scările maxime cuprinse între 1,2 V şi 600 V, precum şi curenţi continui sau alternativi (sinusoidali) avînd şapte domenii de măsură cu scările maxime cuprinse între 1,5 mA şi 6 A. De obicei, acest aparat mai are o rezistenţă adiţională pentru a putea măsura tensiuni pînă la 1 200 V, un transformator de curent pentru a măsura curenţi alternativi pînă la 300 A şi un şunt pentru a măsura curenţi continui pînă la 30 A. În fig. 11.1 este reprezentată fotografia unui asemenea aparat univer-

sal, împreună cu accesoriile cu care se livrează de către fabrica „Metra" din Republica Socialistă Cehoslovacă.

În fig. 10.2 sînt date schemele de legături ale aparatului de măsură universal pentru măsurarea curenților continui sau alternativi, a tensiunilor continue sau alternative etc.

Astfel în fig. 11.2, *a* este dată schema de legături pentru măsurarea curenților continui pînă la 6 A ; aparatul este conectat în serie în circuit, astfel încît borna + să fie legată la borna + a circuitului, iar borna — la borna —.

În fig. 11.2, *b* este dată schema de legături pentru măsurarea curenților continui peste 6 A, cu ajutorul unui șunt ; bornele principale ale șuntului sînt legate în serie cu circuitul, iar bornele mici sînt legate la instrument astfel încît borna + este legată cu borna + a aparatului, iar borna — cu borna pentru 60 mV (situată între bornele notate cu *A* și +).

În fig. 11.2, c este dată schema de legături pentru măsurarea curenților alternativi peste 6 A, utilizînd transformatorul de intensitate *TI*.

În fig. 11.2, *d* este dată schema pentru măsurarea tensiunilor pînă la 600 V, iar în figura 10.2, *e* pentru măsurarea tensiunilor pînă la 1 200 V, utilizînd o rezistență adițională.

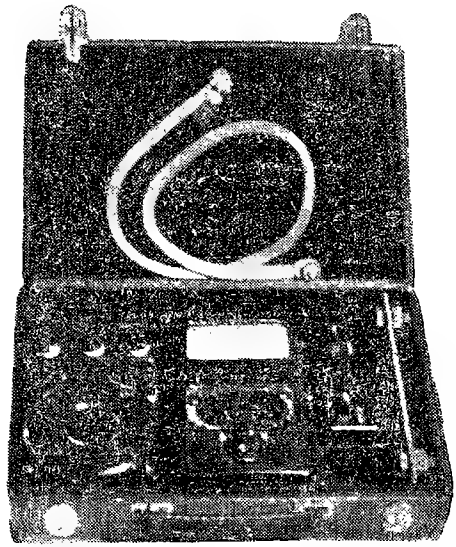


Fig. 11.1. Trusă cu aparat universal de măsurat (ampermetru-voltmetru) și anexe :

1 — aparat de măsurat; 2 — comutatoare pentru scările de măsură; 3 — transformator de curent; *4* — cordon; 5 — șunt.

În fig. 11.2, *f* este dată schema pentru măsurarea fie a tensiunii, fie a curentului, fără a se mai efectua schimbări în schema de montaj.

Aparate pentru măsurarea rezistențelor înfășurărilor și a rezistențelor de izolație ; pentru aceasta se recomandă :

Puntea pentru măsurarea rezistenței, care servește la măsurarea rezistențelor înfășurărilor cuprinse între 0,01 Ω și circa 50 000 Ω. Puntea are de obicei drept sursă o baterie de buzunar de 4,5 V, încorporată în aparat ; această baterie trebuie înlocuită periodic. De obicei această punte se construiește pentru cinci trepte, fiecare treaptă avînd un domeniu de măsură de 10 ori mai larg decît cel precedent.

Megohmmetrul serveşte la măsurarea rezistenţei de izolaţie dintre înfăşurări sau dintre înfăşurare şi masă. Acest aparat este construit curent cu două scări, o scară pentru rezistenţe cuprinse între 1 şi 100 kΩ (1 kΩ = 1 000 Ω) şi a doua pentru rezistenţe de la 1 la 100 MΩ (1 MΩ = 1 000 000 Ω).

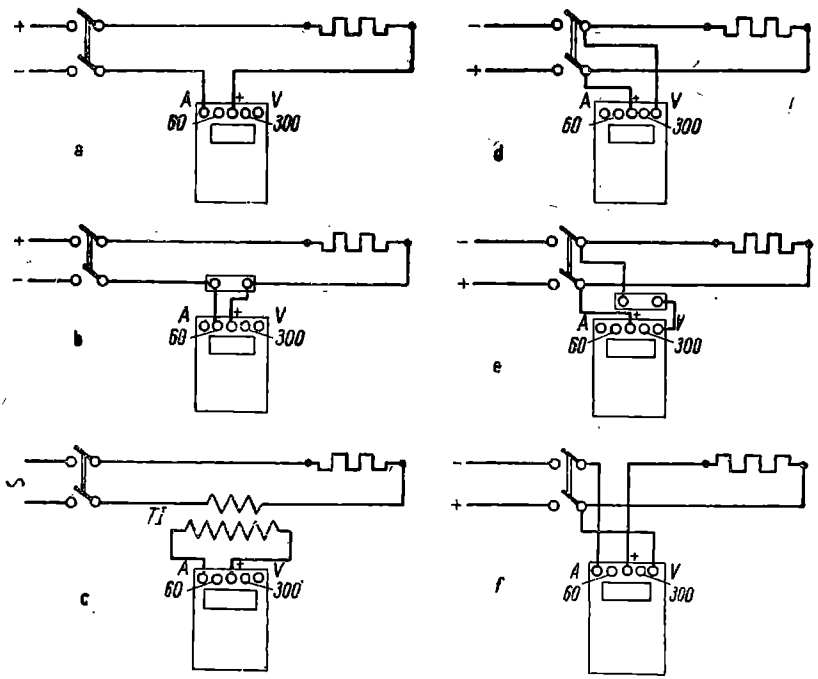


Fig. 11.2. Scheme de legături ale aparatului universal de măsurat.

În fig. 11.3 este reprezentată fotografia unei punţi de măsură şi a unui megohmmetru.

Un alt instrument necesar într-un atelier de bobinaj este *tahometrul* (fig. 10.4, *a*), folosit la măsurarea turaţiei motoarelor electrice pînă la 48 000 rot/min ; instrumentul are 6 scări cu următoarele domenii : 40—160 rot/min, 120—480 rot/min, 400—1 600 rot/min, 1 200—4 800 rot/min, 4 000—16 000 rot/min şi 12 000—48 000 rot/min.

Pentru măsurarea turaţiei la motoarele de puteri mici nu se poate utiliza tahometrul, fiindcă ar încărca suplimentar maşina de încercat ; se recurge în acest scop la un aparat denumit *stroboscop* (fig. 11.4, *b*), care are o lampă cu neon alimentată de la un generator

electronic. Aparatul are două scări : o primă scară de la 500 la 3 200 rot/min și o a doua de la 3 000 la 32 000 rot/min și este un produs cunoscut sub denumirea de Oristrob al fabricii „Orion" din Republica Populară Ungară.

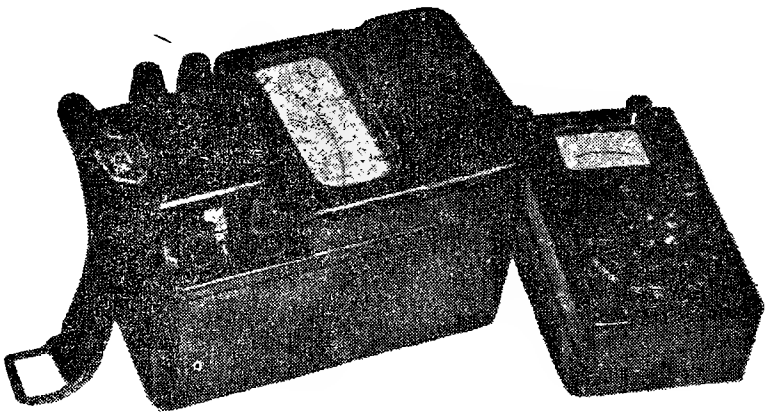


Fig. 11.3. Megohmmetru (stînga) și punte de măsurare a rezistențelor (dreapta).

Dintre instalațiile auxiliare necesare încercării izolației mașinilor electrice este importantă *instalația pentru tensiune înaltă de frecvență industrială* ; această instalație servește pentru încercarea rezistenței la străpungere a izolației înfășurărilor. Schema instalației reprezentată în fig. 11.5 se compune dintr-un autotransformator reglabil *AT*, un transformator de tensiune *T*, un voltmetru *V*, un întrerupător automat rapid *IR* și o rezistență de protecție *R*. Autotransformatorul se construiește pentru o tensiune de alimentare egală cu tensiunea rețelei și trebuie să permită un reglaj fin al tensiunii transformatorului de tensiune.

Instalația se construiește pentru o putere cuprinsă între 200 W și 1 kW, pentru o tensiune înaltă de 3 kV, în care caz este destinată încercărilor mașinilor electrice avînd tensiunea nominală sub 1 000 V. fie pentru o tensiune înaltă de 20 kV, în care caz este destinată încercării mașinilor care au tensiunea nominală pînă la 6 000 V. La voltmetru se citește direct tensiunea înaltă care se aplică izolației înfășurării. Rezistența de protecție servește la protecția instalației în cazul cînd izolația s-a străpuns și instalația este în scurtcircuit ; de obicei, rezistența de protecție are valoarea cuprinsă între 100 000 și 300 000 Ω.

Această instalație mai este echipată și cu două lămpi de semnalizare (nereprezentate în schemă), dintre care una se aprinde de îndată ce instalația este legată la rețea (sub tensiune se află numai separatorul *S*), iar cealaltă cînd autotransformatorul *AT* este alimentat.

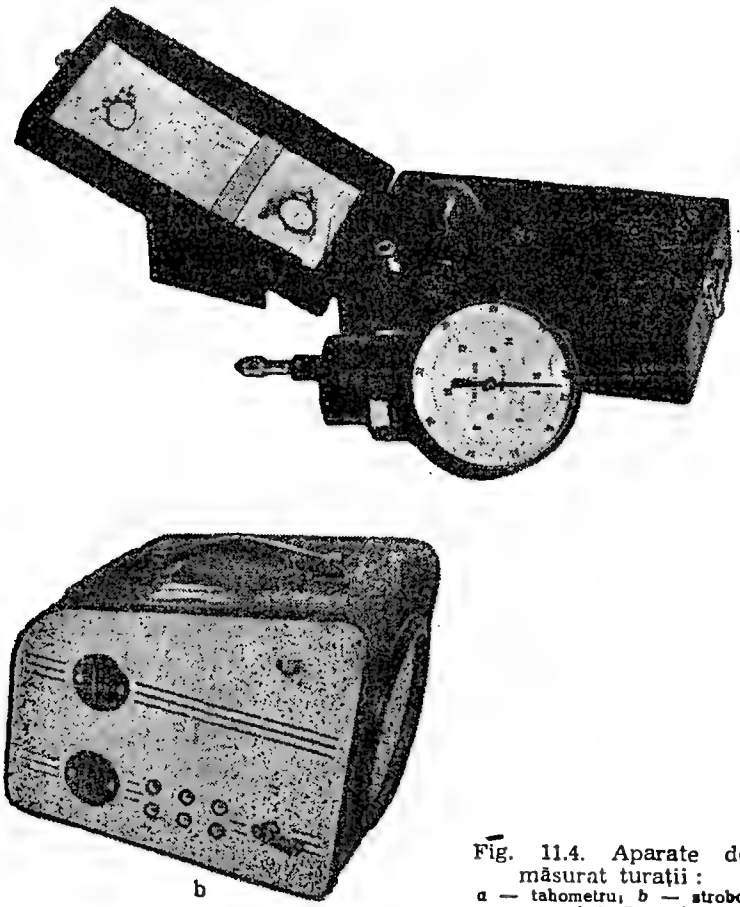


Fig. 11.4. Aparate de măsurat turații : *a* — tahometru; *b* — stroboscopul tip Oristrob.

Foarte utilă în atelierele de reparații ale mașinilor cu tensiuni ridicate este și *instalația pentru încercarea izolației între spire a bobinelor*. Această instalație (v. fig. 11.6) se compune dintr-un transformator cu jugul demontabil *1*, un autotransformator reglabil de alimentare *2*, un ampermetru *3* și un întrerupător *4*. Bobina preformată

se introduce pe coloana transformatorului, îndeplinind rolul înfășurării secundare a acestuia. Cînd apare un scurtcircuit între spirele bobinei, ampermetrul indică un curent mai mare decît curentul de mers în gol al instalației în absența bobinei. Dimensiunile acestei instalații depind de dimensiunile bobinelor de încercat.

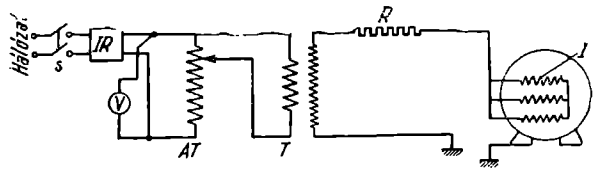


Fig. 11.5. Schema instalației pentru încercarea izolației la străpungere.

Pentru identificarea defectelor înfășurărilor montate în crestăturile statorului sau rotorului se folosesc cîteva dispozitive de construcție foarte simplă, însă deosebit de utile în practică. Dintre acestea menționăm: *lama feromagnetică* și *electromagnetul cu cască telefonică*.

Lama feromagnetică executată din tablă silicioasă, avînd o lățime de 1~2 cm și o lungime de 0,5 m, servește, de exemplu, la identificarea crestăturilor în care se află o anumită înfășurare de fază; pentru aceasta, fără ca mașina să aibă rotorul montat, se alimentează numai înfășurarea respectivă și se plimbă lama feromagnetică (a cărei lățime este aproximativ egală cu lățimea a doi dinți) prin fața crestăturilor. Între dinții de care lama este atrasă se află o latură de bobină a fazei care se identifică.

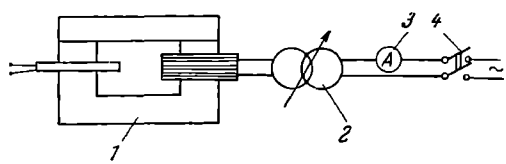


Fig. 11.6. Schema de principiu a instalației pentru încercarea bobinelor la proba între spire.

Lama mai poate servi și pentru identificarea scurtcircuitului între spirele înfășurării rotorului mașinii de curent continuu, sau a conexiunilor inversate.

În acest scop rotorul formează armătura prin care se închide cîmpul magnetic al unui electromagnet (fig. 11.7). Electromagnetul are o formă specială, pentru a putea fi utilizat la rotoare de diferite dimensiuni. Înfășurarea electromagnetului se alimentează de la o sursă de tensiune alternativă (de exemplu de la rețeaua de curent alternativ). Între armăturile electromagnetului se așază rotorul, păs-

trîndu-se un întrefier de 5—7 mm. Se rotește încet rotorul în diferite poziții și se plimbă lama feromagnetică prin fața crestăturilor situate în exteriorul zonei polilor electromagnetului. În dreptul crestăturilor în care se află o secție care cuprinde spire în scurtcircuit, lama este atrasă spre rotor.

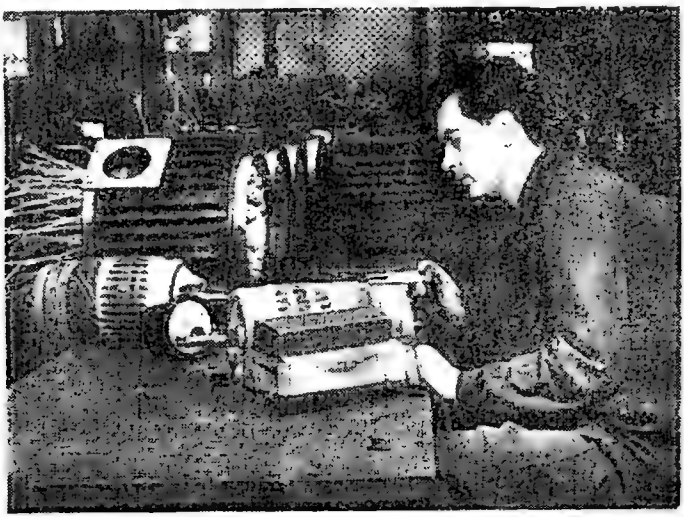


Fig. 11.7. Încercarea izolației între spire la bobinele montate la un rotor de curent continuu (U.M.E.B.).

În locul lamei feromagnetice se poate folosi un mic electromagnet a cărei înfășurare este legată la o cască telefonică ; în zona în care se află secțiile defecte, în cască se aude un sunet de frecvența tensiunii de alimentare a electromagnetului care produce cîmpul magnetic principal.

11.2. SCULELE ȘI UTILAJELE PRINCIPALE ALE ATELIERULUI DE BOBINAJ

Într-un atelier electric în afară de sculele strict uzuale întîlnite într-un atelier de întreținere de uz general (clește, ciocan, menghină, nicovală, polizor etc.), mai sînt necesare o serie de scule și utilaje specifice procesului tehnologic de bobinare a mașinilor electrice.

Aceste scule se pot confecționa în parte chiar de către bobinator; sculele mai speciale trebuie executate într-un atelier mecanic sau de tîmplărie.

Dintre aceste scule cele mai importante sînt (fig. 11.8) :

— ciocanul de lemn (*a*), care servește pentru îndreptarea conductoarelor, pentru așezarea spirelor, în zona capetelor de bobină, după un anumit șablon ;

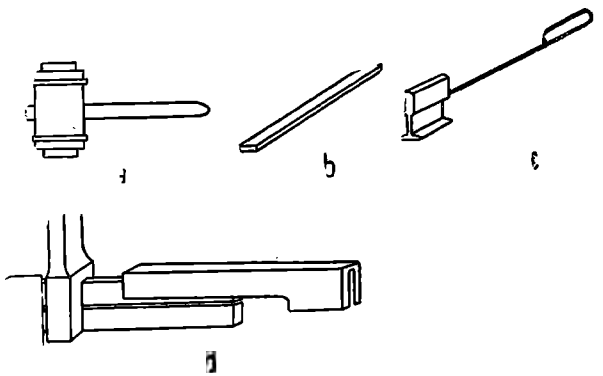


Fig. 11.8. Scule folosite de bobinatori :
a — ciocane de lemn; *b* — pene din material izolant; *c* — călcător; *d* — chei pentru îndoirea barelor la capetele de bobine.

— pana de lemn (*b*), care servește la așezarea conductoarelor în crestătură, la îndoirea și presarea izolației peste latura de bobină introdusă în crestăturile semiînchise sau semideschise etc. ;

— călcătorul (*c*), utilizat la așezarea spirelor la locul prevăzut pentru ele în crestătură ;

— chei (*d*) pentru îndoirea barelor la capetele de bobină, după ce s-a introdus axial bobina ;

— ciocanul de lipit cu putere de 200 W, necesar în special pentru executarea legăturilor la mașinile mici și cu putere de 500 W, pentru executarea lipiturilor la mufele de legătură dintre bare ;

— șabloanele de lemn pentru executarea bobinelor, sau numai a capetelor de bobină în cazul bobinajelor cusute, respectiv înfiruite.

Dintre utilajele mai importante cu care se dotează un atelier electric trebuie menționate următoarele :

— mașina de găurit verticală, necesară la confecționarea plăcilor de borne, a șabloanelor de bobine, la repararea portperiilor etc. ;

— mașina de izolat conductorul cu bandă ;

— mașina de izolat cu bumbac sau mătase conductorul recuperat; asemenea mașini se pot executa chiar de către atelierele de rebobinat. Principial, această mașină se compune dintr-un tambur liber (pe care se află bobinat conductorul neizolat); un tambur primitor antrenat printr-o curea sau un mecanism pe care se bobinează conductorul izolat; motorul de antrenare a tamburului primitor, respectiv a mosoarelor cu fir de bumbac; dispozitive pentru întinderea și îndreptarea conductorului și dispozitivul pentru întinderea firului de bumbac;

— dispozitive pentru executarea manuală a bobinelor polare;

— mașina de bobinat pentru executarea bobinelor concentrate;

— instalația pentru degresare, compusă dintr-o baie cu lichidul degresant și role de ghidaj pentru conductor;

— cuptorul de uscare, construit cu rezistențe electrice pentru încălzire;

— instalația de impregnare.

În cazul în care întreprinderea nu dispune și de un atelier mecanic sau numărul de motoare de rebobinat este relativ mare, atelierul de bobinat se mai dotează cu un strung mic pentru confecționarea unor piese utilizate curent.

Pentru echilibrarea rotoarelor mai sînt necesare:

— suportul pentru verificarea echilibrării statice a rotoarelor;

— mașina de echilibrat dinamic.

În afară de aceste scule și utilaje, atelierul de bobinat trebuie să dispună de mese de lucru pe care se așază statoarele gata de reparat, capre pentru susținerea rotoarelor, dispozitive pentru derularea ușoară a conductorului izolat etc.

Atelierele mari, în care se demontează și se montează mașini electrice de puteri mijlocii, între 3 și 100 kW, trebuie să mai dispună și de o grindă rulantă cu o capacitate de 500—1 500 kg, care servește pentru ridicarea și transportul pieselor demontate în cadrul atelierelor și de un electrocar pentru transportul mașinilor electrice în afara și chiar în incinta atelierului.

11.3. SURSE DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ

Atelierele de reparat mașini electrice, fiind echipate cu un minimum de mașini-unelte, trebuie să dispună de tablouri de alimentare cu energie electrică pentru a pune în funcțiune agregatele care intră în procesul tehnologic.

În acest scop atelierele pentru reparat mașini mici și mijlocii sînt prevăzute cu tablouri de alimentare legate la rețeaua industrială tri-

fazată cu tensiunea de 380 V (sau 220 V) între faze. De la aceste tablouri se alimentează în derivaţie fiecare maşină-unealtă, standul de încercări, cuptorul pentru uscare şi instalaţia de impregnare. Totodată se prevăd prize monofazate pentru alimentarea ciocanelor de lipit, a instalaţiilor pentru încercarea izolaţiei înfăşurărilor. În medie, puterea instalată la atelierele de rebobinat maşini de puteri mici şi mijlocii variază între 20—50 kW. Aceasta depinde şi de numărul de maşini de rebobinat şi de felul reparaţiilor.

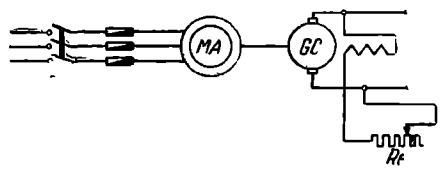


Fig. 11.9. Schema grupului convertizor de curent continuu :
MA — motor asincron; *GC* — generator de curent continuu; *Re* — reostat de excitaţie.

Drept surse de curent continuu se folosesc fie acumulatoare de 6 sau 12 V, fie redresoare cu seleniu fabricate în ţara noastră de uzinele „Grigore Preoteasa“ ; cele din urmă sînt mai recomandabile, întrucît nu necesită o întreţinere pretenţioasă ca acumulatoarele. Sursa de curent continuu este necesară îndeosebi pentru încercarea maşinilor mici de curent continuu, pentru măsurarea rezistenţei înfăşurărilor cu voltmetre şi ampermetre de curent continuu, cum şi pentru alimentarea excitaţiei generatoarelor de curent continuu.

Pentru a realiza o sursă de curent continuu se poate utiliza şi un grup convertizor, format dintr-un motor asincron *MA* cuplat mecanic cu un generator de curent continuu *GC* după schema din fig. 11.9 ; ambele maşini trebuie să aibă aceeaşi turaţie. Pentru protecţia motorului se poate utiliza un întrerupător automat sau siguranţe fuzibile ; excitaţia generatorului de curent continuu se poate regla prin intermediul unui reostat R_e.

11.4. ORGANIZAREA LUCRULUI ÎN ATELIER

Utilizarea la maximum a timpului de lucru şi reducerea deplasărilor inutile în cadrul atelierului impun o organizare corespunzătoare a procesului tehnologic, bazată în special pe circuitul tehnologic pe care trebuie să-l parcurgă una dintre părţile maşinii.

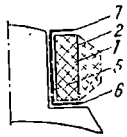
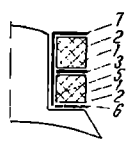
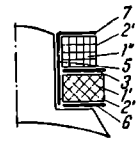
Atelierul de rebobinat trebuie amplasat într-un mediu uscat, bine aerisit, curat şi trebuie să dispună de un număr de încăperi în care să se execute separat următoarele operaţii : demontarea maşinii de rebobinat şi desfăşurarea conductorului, pregătirea conductorului pentru bobinaj ; din atelierul de bobinaj pot să derive camere în care

se așază cuptorul de uscare și cuva de impregnare. De asemenea, pentru încercări trebuie să se prevadă fie o încăpere separată, fie să se separe o parte din spațiul rezervat atelierului propriu-zis, accesibil exclusiv personalului specializat în problemele de încercări și care cunoaște instrucțiunile de tehnica securității.

De remarcat că în atelierul de rebobinat nu trebuie admise prelucrări mecanice care pot conduce la pătrunderea piliturii metalice în înfășurări și la degradarea izolației. Prelucrările mecanice trebuie efectuate într-o cameră separată de atelierul de rebobinat.

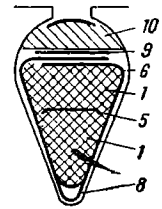
În atelierul propriu-zis lucrul se poate organiza pe trei linii : prima linie de pregătirea și executarea bobinelor preformate, verificarea izolației lor etc. ; a doua linie de rebobinarea statoarelor și a treia linie de rebobinarea rotoarelor mașinilor electrice, fiecărui loc de muncă fiindu-i necesar un spațiu suficient încît să se poată avea acces la mașina de reparat din orice parte.

Sisteme de izolație (clasa A) pentru înfășurări concentrate montate pe poli aparenți

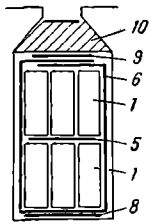
	Schița						
	Destinație (utilizare)	1. Înfășurare de excitație principală, diametrul statorului 150—350 mm		2. Înfășurare de excitație principală, diametrul statorului 350—850 mm		3. Înfășurare de excitație mixtă diametrul statorului 150—350 mm	
	Reper	Denumirea materialului	Grosimea mm	Denumirea materialului	Grosimea mm	Denumirea materialului	Grosimea mm
1	Conductor bobinaj	Cupru, izolație clasa A	—	Cupru, izolație clasa A	—	Cupru, izolație cl. A (1′)	—
	—	—	—	—	—	Cupru, izolație cl. A (1″)	—
2	Izolație bobină	Bandă de bumbac	0,20×2	Bandă de bumbac	0,20×2	Bandă de bumbac (2′)	0,20×2
	—	—	—	—	—	Bandă de bumbac (2″) impregnată și lăcuită	0,45×2
3	Izolație între bobine (galeți)	—	—	Pertinax	2,0	Carton electrotehnic impregnat	1,50
4	Izolație între straturi	—	—	—	—	—	—
5	Izolație față de miezul polului	Carton electrotehnic impregnat	0,5	Carton electrotehnic impregnat	0,6	Carton electrotehnic impregnat	0,5
6	Ramă izolantă inferioară	Carton electrotehnic impregnat	1,5	Pertinax	2,0	Pertinax	2,0
7	Ramă izolantă superioară	Carton electrotehnic impregnat	1,5	Pertinax	2,0	Pertinax	2,0

	4. Înfăşurare de excitaţie mixtă, diametrul statorului 350—850 mm		5. Înfăşurare de excitaţie serie, diametrul statorului 150—350 mm		6. Înfăşurare de excitaţie serie, diametrul statorului 350—850 mm	
Poz.	Denumirea materialului	Grosimea mm	Denumirea materialului	Grosimea mm	Denumirea materialului	Grosimea mm
1	Cupru, izolaţie clasa A (1′)	—	Cupru, bară, neizolat	—	Cupru, bară neizolat	—
1′	Cupru, izolaţie clasa A (1″)	—	—	—	—	—
2	Bandă de bumbac (2′)	0,20×2	Bandă de bumbac impregnată şi lăcuită	0,45×2	Bandă de bumbac impregnată	0,45×2
2′	Bandă de bumbac impregnată şi lăcuită (2″)	0,45×2	—	—	—	—
3	Pertinax	2,0	—	—	Pertinax	2
4	—	—	Carton electrotehnic impregnat	0,20	Carton electrotehnic impregnat	0,20
5	Carton electrotehnic impregnat	0,6	Carton electrotehnic impregnat	0,5	Carton electrotehnic impregnat	0,60
6	Pertinax	2,0	Carton electrotehnic impregnat	1,50	Pertinax	2,0
7	Pertinax	2,0	Carton electrotehnic impregnat	1,50	Pertinax	2,0

Sisteme de izolație (clasele A, B, F) pentru înfășurări tip indus de curent continuu

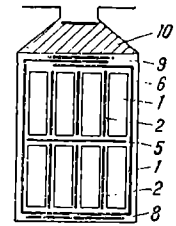
Schița	
Destinație (utilizare)	1. Execuție normală, tensiuni pînă la 500 V, puteri între 1 kW și 10 kW, clasă izolație A

Poz.	Reper	Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părți, mm	
					lățime	înălțime
1	Conductor bobinaj	Cupru rotund, izolat cu email cl. A, bumbac sau mătasă	—	—	—	—
2	Izolație între spire	—	—	—	—	—
3	Izolație între straturi în același mănunchi	—	—	—	—	—
4	Teacă izolantă mănunchi	—	—	—	—	—
5	Izolație între straturi	Carton electrotehnic	0,50	1	—	0,50
6	Izolația crestăturii	Carton electrotehnic	0,2	$1\frac{1}{4}$	0,40	0,60
7	Izolația exterioară a mănunchiului	—	—	—	—	—
8	Izolația la fundul crestăturii	Carton electrotehnic	0,2	1	—	6,2
9	Izolația sub pană (bandaj)	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
10	Pana pentru închiderea crestăturii	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—



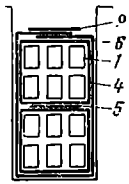
2. Execuţie normală, tensiuni pînă la 600 V, puteri mai mari de 10 kW, clasă izolaţie A

Poz.	Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
				lăţime	înălţime
1	Cupru profilat, izolat cu bumbac sau mătase	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—
5	Carton electrotehnic	0,5	1	—	0,5
6	Carton electrotehnic Pînză uleiată Carton electrotehnic	0,2 0,2 0,2	1 1/4 1 1	0,40 0,40 0,40	0,60 0,40 0,40
7	—	—	—	—	—
8	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,20
9	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,20
10	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—



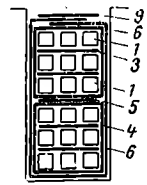
3. Execuţie normală, tensiuni pînă la 600 V, puteri mai mari de 3 kW, clasă izolaţie A

Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
			lăţime	înălţime
Cupru profilat neizolat	—	—	—	—
Micanită	0,2	1	0,6	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
Carton electrotehnic	0,5	1	—	0,5
Carton electrotehnic Pînză uleiată Carton electrotehnic	0,2 0,2 0,2	1 1/4 1 1	0,40 0,40 0,40	0,60 0,40 0,40
—	—	—	—	—
Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
Carton electrotehnic, sau leteroid	0,2	1	—	0,2
Lemn de fag impregnat	—	—	—	—



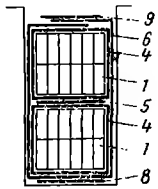
4. Execuţie normală, tensiuni pînă la 500 V, pînă la 100 kW, clasă izolaţie A

	Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
				lăţime	înălţime
1	Cupru profilat izolat	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—
4	Pînză uleiată	0,2	2 1/2	1,00	0,8×2
	Bandă de bumbac	0,2	1	0,4	0,4×2
5	Carton electrotehnic	0,3	1	—	0,30
6	Carton electrotehnic	0,3	1 1/4	0,60	0,90
7	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—
9	Carton electrotehnic	0,5	1	—	0,5
10	—	—	—	—	—



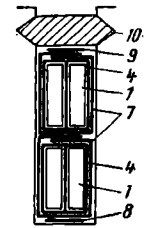
5. Execuţie normală, tensiuni pînă la 500 V, pînă la 100 kW, clasă izolaţie A

	Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
				lăţime	înălţime
1	Cupru profilat izolat	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
4	Pînză uleiată	0,2	2 1/2	1,00	0,8×2
	Bandă de bumbac	0,2	1	0,4	0,4×2
5	Carton electrotehnic	0,3	1	—	0,30
6	Carton electrotehnic	0,3	1 1/4	0,60	0,90
7	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—
9	Carton electrotehnic	0,5	1	—	0,5
10	—	—	—	—	—



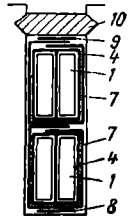
6. Execuţie normală, tensiuni pînă la 500 V, pînă la 100 kW, clasă izolaţie B

Poz.	Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
				lăţime	înălţime
1	Cupru profilat, izolat cu bumbac	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—
4	Micafoliu, încheiat lateral	0,15	2 1/4	0,6	0,75×2
	Hîrtie telefonică lăcuită	0,07	2 1/4	0,28	0,35×2
5	Carton electrotehnic	0,3	1	—	0,3
6	Carton electrotehnic	0,2	1 1/4	0,4	0,6
7	—	—	—	—	—
8	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
9	Carton electrotehnic	0,5	1	—	0,5
10	—	—	—	—	—



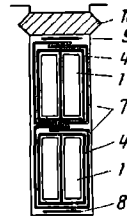
7. Execuţie normală, tensiuni pînă la 500 V, clasă izolaţie B

Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
			lăţime	înălţime
Conductor profilat, izolat cu fire de sticlă	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
Micabandă jumătate suprapusă	0,125	2	1,0	1,0×2
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
Bandă de tafta	0,2	1	0,4	0,6×2
Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
Lemn de fag impregnat	—	—	—	—



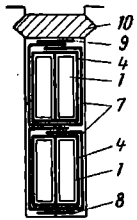
8. Execuţie normală, tensiuni între 500 V şi 1000 V, clasă izolaţie B.

Poz.	Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
				lăţime	înălţime
1	Conductor profilat, izolat cu fire de sticlă	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—
5	Micabandă jumătate suprapus	0,125	3	1,50	0,5×2
6	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—
8	Bandă de tafta	0,2	1	0,4	0,6×2
9	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
10	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
11	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—



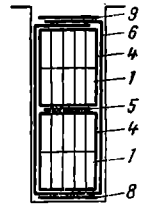
9. Execuţie normală, tensiuni pînă la 500 V, clasă izolaţie B.

Poz.	Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
				lăţime	înălţime
1	Cupru profilat, izolat cu fire de sticlă	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—
4	Micafoliu încheiat lateral	0,12	2 1/4	0,5	0,5×2
	Hîrtie telefonică lăcuită	0,03	1 1/4	0,1	0,1×2
	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—
8	Carton electrotehnic	0,2	1 1/4	0,4	0,6×2
9	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
10	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
11	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—



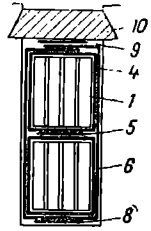
10. Execuţie normală, tensiuni între 500 V şi 1000 V, clasă izolaţie B

Poz.	Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
				lăţime	înălţime
1	Cupru profilat, izolat cu fire de sticlă	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—
4	Micafoliu încheiat lateral	0,12	4 1/4	1,0	1,0×2
	Hîrtie telefonică lăcuită	0,03	1 1/4	0,1	0,1×2
5	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—
7	Carton electrotehnic	0,2	1 1/4	0,4	0,6×2
8	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
9	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
10	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—



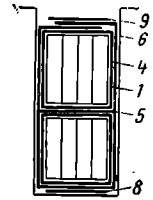
11. Execuţie normală, tensiuni pînă la 500 V, pînă la 100 kW, clasă izolaţie B

Poz.	Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
				lăţime	înălţime
1	Cupru profilat, izolat cu fire de sticlă	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—
4	Micanită flexibilă pe suport de hîrtie	0,2	2 1/2	1,00	0,80×2
	Bandă de bumbac, înfăşurat la margine	0,2	1	0,40	0,40×2
5	Micanită	0,3	1	—	0,30
6	Carton electrotehnic	0,2	1 1/4	0,40	0,60
7	—	—	—	—	—
8	Carton electrotehnic	0,3	1	—	0,30
9	Carton electrotehnic	0,5	1	—	0,50
10	—	—	—	—	—



12. Pentru maşini de tracţiune, tensiuni pînă la 1000 V, clasă izolaţie F

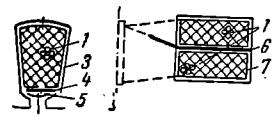
Poz.	Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
				lăţime	înălţime
1	Cupru profilat, izolat cu fire de sticlă şi lac clasa F	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—
4	Sticlomicafoliu cu lac de clasă F	0,2	2 1/2	1,0	0,8×2
	Bandă de sticlă	0,07	1	0,14	0,14×2
5	Sticlomicanită	0,5	1	—	0,5
6	Izolaţie combinată pe bază de ţesături de sticlă şi foliu sintetic de clasă F	0,5	1 1/4	1,0	1,5
7	—	—	—	—	—
8	Sticlotextolit	0,2	1	—	0,2
9	Sticlotextolit	0,2	1	—	0,2
10	Sticlotextolit	—	—	—	—



13. Pentru maşini cu regim constant de sarcină, tensiuni pînă la 1000 V, clasă izolaţie F

Materialul	Grosime mm	Număr straturi	Grosimea ambelor părţi, mm	
			lăţime	înălţime
Cupru profilat, izolat cu fire de sticlă şi lac clasa F	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
Sticlomicafoliu cu lac de clasă F	0,2	2 1/2	1,0	0,8×2
Bandă de sticlă	0,07	1	0,14	0,14×2
Sticlomicanită	0,5	1	—	0,5
Izolaţie combinată pe bază de ţesături de sticlă şi foliu sintetic de clasa F	0,5	1 1/4	1,0	0,5
—	—	—	—	—
Sticlotextolit	0,2	1	—	0,2
Sticlotextolit	0,5	1	—	0,5
—	—	—	—	—

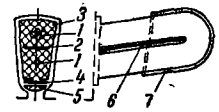
Sisteme de izolaţie (clasa A, E, B, F) pentru înfăşurări de curent alternativ de joasă tensiune, conductor rotund, pentru statoare de maşini sincrone şi asincrone

Poziţia	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea izolaţiei în crestătură (mm)	
					lăţime	înălţime
	Schiţa					
	Domeniul de utilizare	1. Înfăşurări într-un strat pentru tensiuni pînă la 500 V, şi pentru $2p=4$ şi $2p=6$, clasa izolaţie A				
În crestături	1 Conductor de bobinaj	Cupru izolat cu email sau EB, BB	—	—	—	—
	2 Izolaţie între straturi	—	—	—	—	—
	3 Izolaţia crestăturii	Carton electrotehnic	0,25	1	0,5	0,5
		Pînză uleiată	0,2	1	0,4	0,4
		Carton electrotehnic	0,25	1	0,5	0,5
	4 Izolaţia sub pană	Carton electrotehnic	0,5	1	—	0,50
	5 Pana	Lemn de fag impregnat în ulei	—	—	—	—
La capete de bobine	6 Izolaţie între faze	Carton electrotehnic	0,25	1	—	—
	7 Bandaj	Ciorap de bumbac $\varnothing_{int}=5$ mm				
	8 Izolaţia legăturii	Ciorap bumbac impregnat sub tub material plastic $\varnothing_{int}=5$ mm				

Schița	(vezi figura de la exemplul 1)					
Domeniul de utilizare	2. Înfășurări într-un strat, pentru tensiuni pînă la 500 V, și pentru $2p=4$ și $2p=6$, clasa izolație E					
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea izolației în crestătură (mm)	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor de bobinaj	Cupru rotund izolat cu email cl. E	—	—	—	—
	2 Izolație între straturi	—	—	—	—	—
	3 Izolația crestăturii	Izolație preșpan + foliu cl. E	0,2	1	0,4	0,4
	4 Izolația sub pană	Izolație preșpan + foliu cl. E	0,2	1	—	0,2
	5 Pana	Lemn de fag impregnat în ulei	—	—	—	—
La capete de bobine	6 Izolație între faze	Izolație preșpan + foliu cl. E	0,2	1	—	—
	7 Bandaj	Ciorap țesătură sticlă sau bumbac $\varnothing_{int}=5$ mm				
	8 Izolația legăturii	Ciorap de sticlă impregnat sau tub material plastic $\varnothing_{int}=5$ mm				

ANEXA III (continuare)

Schița		(vezi figura de la exemplul 1)				
Domeniul de utilizare		3. Înfășurări într-un strat, pentru tensiuni pînă la 500 V, $2p=4,6$, clasa izolație E				
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea izolației în crestătură (mm)	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor de bobinaj	Cupru rotund izolat cu email cl. E	—	—	—	—
	2 Izolație între straturi	—	—	—	—	—
	3 Izolația crestăturii	Izolație preșpan+foliu cl. E	0,25	1	0,5	0,5
	4 Izolația sub pană	Izolație preșpan+foliu cl. E	0,25	1	—	0,5
	5 Pana	Lemn de fag impregnat în ulei	—	—	—	—
La capete de bobine	6 Izolație între faze	Izolație combinată (preșpan+ +foliu)	0,25	1	—	—
	7 Bandaj	Ciorap de sticlă sau bumbac $\varnothing_{int}=5$ mm				
	8 Izolația legăturii	Ciorap de sticlă sau bumbac impregnat $\varnothing_{int}=5$ mm				

Schița	
Domeniul de utilizare	4. Înfășurări în două straturi, pentru tensiuni pînă la 500 V, $2p=2$ și $2p=8$, clasa izolație A

Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea izolației în crestătură (mm)	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor de bobinaj	Cupru rotund izolat în clasa A	—	—	—	—
	2 Izolație între straturi	Carton electrotehnic	0,3	1	—	0,3
	3 Izolația crestăturii	Carton electrotehnic	0,25	1	0,5	0,5
		Pînză uleiată	0,2	1	0,4	0,4
		Carton electrotehnic	0,25	1	0,5	0,5
	4 Izolația sub pană	Carton electrotehnic	0,5	1	—	0,5
	5 Pana	Lemn de fag impregnat în ulei	—	—	—	—
La capete de bobine	6 Izolație între faze	Carton electrotehnic	0,25	1	—	—
	7 Bandaj	Ciorap de bumbac $\varnothing_{int}=5$ mm				
	8 Izolația legăturii	Ciorap de bumbac impregnat sau material plastic $\varnothing_{int}=5$ mm				

ANEXA III (continuare)

Schița	(vezi figura de la exemplul 4)					
Domeniul de utilizare	5. *Înfășurări în două straturi, pentru tensiuni pînă la 500 V, 2p=2—8, clasa izolație E*					
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea izolației în crestătură (mm)	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor de bobinaj	Cupru rotund, izolat cu email cl. E	—	—	—	—
	2 Izolație între straturi	Izolație preșpan + foliu plastic	0,2	1	—	0,2
	3 Izolația crestăturii	Izolație preșpan + foliu cl. E	0,2	1	0,4	0,4
	4 Izolația sub pană	Izolație preșpan + foliu cl. E	0,2	1	—	0,2
	5 Pana	Lemn de fag impregnat în ulei	—	—	—	—
La capete de bobine	6 Izolație între faze	Izolație preșpan + foliu	0,2	1	—	—
	7 Bandaj	Ciorap țesătură sticlă, bumbac $\varnothing_{int}$ = 5 mm				
	8 Izolația legăturii	Ciorap țesătură sticlă, impregnat $\varnothing_{int}$ = 10 mm				

Schița	(vezi figura de la exemplul 4)					
Domeniul de utilizare	6. Înfășurări în două straturi, pentru tensiuni pînă la 500 V, $2p=2$ și $2p=8$, izolație clasa E					
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea izolației în crestătură (mm)	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor de bobinaj	Cupru rotund izolat cu email cl. E	—	—	—	—
	2 Izolație între straturi	Izolație preșpan+foliu	—	1	—	0,25
	3 Izolația crestăturii	Izolație preșpan+foliu	0,25	1	0,5	0,5
	4 Izolația sub pană	Izolație preșpan+foliu cl. E	1	1	—	0,25
	5 Pana	Lemn fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	6 Izolație între faze	Izolație preșpan+foliu	0,25	—	—	—
	7 Bandaj	Ciorap de sticlă				
	8 Izolația legăturii	Ciorap de sticlă impregnat $\varnothing_{int}=5$ mm				

ANEXA III (continuare)

Schița	(vezi figura de la exemplul 4)				
Domeniul de utilizare	7. Înfășurări în două straturi, pentru tensiuni pînă la 500 V, $2p=2$ și $2p=8$, izolație clasa B				
Poziția / Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea izolației în crestătură (mm) lățime	Grosimea izolației în crestătură (mm) înălțime
În crestătură					
1 Conductor de bobinaj	Cupru rot. emailat cl. B, fire sticlă cu lac cl. B	—	—	—	—
2 Izolație între straturi	Sticlomicanită	0,22	1	—	0,22
3 Izolația crestăturii	Pînză de sticlă lăcuită	0,15	1	—	0,15
	Izolație preșpan + foliu cl. B	0,45	1	0,90	0,90
4 Izolația sub pană	Izolație preșpan + foliu cl. B	0,45	1	—	0,45
5 Pana	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine					
6 Izolație între faze	Sticlomicanită	0,22	1	—	—
	Pînză de sticlă lăcuită	0,15	1	—	—
7 Bandaj	Ciorap de țesătură de sticlă $\varnothing_{int}=5$ mm				
8 Izolația legăturii	Ciorap de țesătură de stilă lăcuită				

Schița	(vezi figura de la exemplul 4)				
Domeniul de utilizare	8. Înfășurări în două straturi, pentru tensiuni pînă la 500 V, $2p=2$, izolație clasa F.				

Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea izolației în crestătură (mm)	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor de bobinaj	Cupru rot. emailat cl. F sau fire sticlă + lac cl. F	—	—	—	—
	2 Izolație între straturi	Sticlomicanită	0,22	1	—	0,22
		Pînză de sticlă lăcuită	0,15	1	—	0,15
	3 Izolația crestăturii	Pînză de sticlă lăcuită	0,15	1	0,3	0,3
		Sticlomicanită	0,22	1	0,44	0,44
		Electronit	0,15	1	0,3	0,3
	4 Izolația sub pană	Electronit	0,15	1	—	0,15
	5 Pana	Sticlotextolit minim	4	—	—	—
La capete de bobine	6 Izolație între faze	Sticlomicanită	0,22	1	—	—
		Pînză de sticlă lăcuită	0,15	1	—	—
	7 Bandaj	Ciorap de sticlă $\varnothing_{int}$ =5 mm				
	8 Izolația legăturii	Sticlomicabandă	0,2	1½ suprapus		
		Bandă de sticlă	0,15	1½ suprapus		

Sisteme de izolație (clasă, A, E, B, F) pentru înfășurări de curent alternativ de joasă tensiune, realizate cu conductoare profilate (bare)

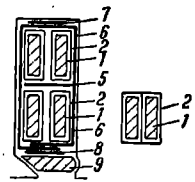


Fig. IV-1.

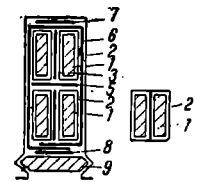


Fig. IV-2.

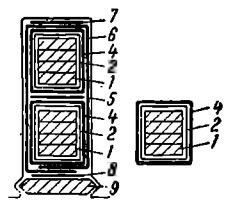


Fig. IV-3.

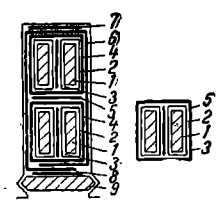


Fig. IV-4.

Domeniul de utilizare		1. Înfăşurări în două straturi cu bobine rigide, cu 4 mănunchiuri în crestături semideschise pentru tensiuni pînă la 550 V, izolaţie clasa A. (v. fig. IV-1)				
Poziţia	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lăţime	înălţime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat cu izolaţie textilă	—	—	—	—
	2 Izolaţia mănunchiului	Hîrtie telefonică lăcuită	0,07	1 1/4	0,42	0,28
	3 Izolaţia între mănunchiurile aceluiaşi strat	—	—	—	—	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	—	—	—	—	—
	5 Izolaţia între straturi	Carton electrotehnic	0,50	1	—	0,5
	6 Izolaţia crestăturii	Carton electrotehnic impregnat	0,15	1 1/4	0,30	0,45
		Pînză lăcuită galbenă	0,20	1 1/4	0,40	0,60
		Carton electrotehnic impregnat	0,20	1 1/4	0,40	0,60
	7 Izolaţia la fundul crestăturii	Carton electrotehnic	0,20	1	—	0,20
	8 Izolaţia sub pană	Carton electrotehnic	0,20	1	—	0,20
	9 Pană	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolaţia mănunchiului	Bandă bumbac	0,15	1 1/2	0,60	0,60
	3 Izolaţia între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolaţia la suprafaţă	—	—	—	—	—

Domeniul de utilizare		2. înfăşurări în două straturi, cu bobine rigide, cu număr oarecare de conductoare pe lăţimea crestăturii care este deschisă, pentru tensiuni pînă la 550 V, izolaţie clasa A. (v. fig. IV-2)				
Poziţia	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lăţime	înălţime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat, cu izolaţie textilă	—	—	—	—
	2 Izolaţia mănunchiului	Bandă tafta, jumătate suprapus	0,18	2	0,72	1,44
	3 Izolaţia între mănunchiurile aceluiaşi strat	Hîrtie impregnată	0,20	1	0,20	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	—	—	—	—	—
	5 Izolaţia între straturi	Carton electrotehnic impregnat	1,00	1	—	1,00
	6 Izolaţia crestăturii	Pînză lăcuită galbenă	0,20	1 1/4	0,40	0,60
		Carton electrotehnic	0,20	1 1/4	0,40	0,60
	7 Izolaţia la fundul crestăturii	Carton electrotehnic	0,20	1	—	0,20
	8 Izolaţia sub pană	Carton electrotehnic	0,20	1	—	0,20
	9 Pană	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolaţia mănunchiului	Bandă tafta, suprapusă trei sferturi	0,18	8	1,44	1,44
	3 Izolaţia între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolaţia la suprafaţă	—	—	—	—	—

Domeniul de utilizare		3. Înfășurări în două straturi, cu bobine rigide, cu conductoarele așezate pe lat, crestătură deschisă, pentru tensiuni până la 550 V, izolație clasa A. (v. fig. IV-3)				
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat cu izolație textilă	—	—	—	—
	2 Izolația mănunchiului	Pînză lăcuită	0,20	2¼	1,0	1,6
	3 Izolația între mănunchiurile aceluiași strat	—	—	—	—	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	4 Pînză lăcuită galbenă Bandă tafta	0,20 0,15	2¼ 2	1,0 0,6	1,6 1,2
	5 Izolația între straturi	Carton electrotehnic	1,00	1	—	1,00
	6 Izolația crestăturii	Carton electrotehnic	0,2	1	0,4	0,6
	7 Izolația la fundul crestăturii	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
	8 Izolația sub pană	Carton electrotehnic	0,2	1	—	0,2
	9 Pană	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolația mănunchiului	Bandă lăcuită jumătate suprapusă	0,25	2	1,0	1,0
	3 Izolația între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolația la suprafață	Bandă tafta, jumătate suprapusă	0,15	2	0,60	0,60

Domeniul de utilizare		4. Înfășurări în două straturi, cu bobine rigide, cu crestături deschise, pentru tensiuni pînă la 550 V, cu izolație întărită, izolație clasa A. (v. fig. IV-4)				
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat cu izolație textilă	—	—	—	—
	2 Izolația mănunchiului	Pînză lăcuită	0,30	$2^1/_2$	1,50	2,40
	3 Izolația între mănunchiurile aceluiași strat	Hîrtie telefonică lăcuită	0,10	1	0,10	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	Bandă de bumbac așezată nesuprapus	0,15	1	0,30	0,60
	5 Izolația între straturi	Carton electrotehnic	0,50	1	—	0,50
	6 Izolația crestăturii	Carton electrotehnic	0,20	1	0,40	0,60
	7 Izolația la fundul crestăturii	Carton electrotehnic	0,20	1	—	0,20
	8 Izolația sub pană	Carton electrotehnic	0,20	1	—	0,20
	9 Pană	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolația mănunchiului	Bandă lăcuită, jumătate suprapuse	0,2	4	0,80	0,80
	3 Izolația între spirele mănunchiurilor vecine	Hîrtie telefonică lăcuită	0,10	1	0,10	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolația la suprafață	Bandă bumbac jumătate suprapusă	0,15	2	0,60	0,60

Domeniul de utilizare		5. Înfășurări în două straturi, cu bobine rigide, cu teacă izolantă aplicată, crestături deschise, pentru tensiuni până la 550 V, izolație clasa A. (v. fig. IV-3)				
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat cu izolație textilă	—	—	—	—
	2 Izolația mănunchiului	Pînză lăcuită	0,20	2 1/2	1,00	1,60
	3 Izolația între mănunchiurile aceluiași strat	—	—	—	—	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	Bandă de bumbac, nesuprapus	0,20	1	0,40	0,80
	5 Izolația între straturi	Carton electrotehnic impregnat	0,50	1	—	0,50
	6 Izolația crestăturii	Carton electrotehnic impregnat	0,20	1	0,40	0,60
	7 Izolația la fundul crestăturii	Carton electrotehnic impregnat	0,30	1	—	0,30
	8 Izolația sub pană	Carton electrotehnic impregnat	0,30	1	—	0,30
	9 Pană	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolația mănunchiului	Bandă lăcuită, jumătate suprapus	0,20	2	0,80	0,80
	3 Izolația între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolația la suprafață	Bandă de bumbac, jumătate suprapus	0,20	2	0,80	0,80

Domeniul de utilizare		6. Înfăşurări în două straturi, cu bobine rigide, cu 4 mănunchiuri în crestătură, crestături semideschise, pentru tensiuni pînă la 550 V, izolaţie clasa E. (v. fig. IV-1)				
Poziţia	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lăţime	înălţime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat cu izolaţie textilă (sticlă) sau email cl. E	—	—	—	—
	2 Izolaţia mănunchiului	Izolaţie hîrtie telefonică cu un foliu plastic cl. E	0,25	1¼	1,50	1,00
	3 Izolaţia între mănunchiurile aceluiaşi strat	—	—	—	—	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	—	—	—	—	—
	5 Izolaţia între straturi	Izolaţie carton electrotehnic între două folii plastice cl. E	0,50	1	—	0,50
	6 Izolaţia crestăturii	Izolaţie foliu plastic cl. E între două cartoane electrotehnice	0,35	1	0,70	1,05
	7 Izolaţia la fundul crestăturii	Carton electrotehnic	0,20	1	—	0,20
	8 Izolaţia sub pană	Carton electrotehnic	0,20	1	—	0,20
	9 Pană	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolaţia mănunchiului	Bandă de ţesătură de sticlă (bandă bumbac), jumătate suprapusă	0,15	2	0,60	0,60
	3 Izolaţia între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolaţia la suprafaţă	—	—	—	—	—

Domeniul de utilizare		7. Înfășurări în două straturi, cu bobine rigide, cu teacă rigidă izolantă aplicată, crestături deschise, pentru tensiuni pînă la 550 V, izolație clasa B. (v. fig. IV-3)				
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat, cu izolație textilă (sticlă) sau email cl. B	—	—	—	—
	2 Izolația mănunchiului	Micafoliu	0,20	$2^1/_2$	1,00	2,00
	3 Izolația între mănunchiurile aceluiași strat	—	—	—	—	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	Hîrtie telefonică lăcuită	0,07	$1^1/_2$	0 21	0,42
	5 Izolația între straturi	Micanită (sau carton electrotehnic)	0,50	1	—	0,50
	6 Izolația crestăturii	Carton electrotehnic impregnat	0,20	1	0,40	0,60
	7 Izolația la fundul crestăturii	Micanită (sau carton electrotehnic)	0,50	1	—	0,50
	8 Izolația sub pană	Micanită (sau carton electrotehnic)	0,50	1	—	0,50
	9 Pană	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolația mănunchiului	Micabandă, jumătate suprapus	0,15	2	0,60	0,60
	3 Izolația între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolația la suprafață	Bandă bumbac, jumătate suprapus	0,20	2	0,80	0,80

Domeniul de utilizare		8. Înfășurări în două straturi, cu bobine rigide, cu teacă izolantă moale aplicată pe bobină, cu crestături deschise, pentru tensiuni pînă la 550 V, izolație clasa B. (v. fig. IV-3)				
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat, cu izolație textilă (sticlă) sau email cl. B	—	—	—	—
	2 Izolația mănunchiului	Micanită flexibilă	0,20	$2^1/_2$	1,00	2,00
	3 Izolația între mănunchiurile aceluiași strat	—	—	—	—	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	Bandă de bumbac nesuprapus	0,20	1	0,40	0,80
	5 Izolația între straturi	Micanită	0,50	1	—	0,50
	6 Izolația crestăturii	Carton electrotehnic impregnat	0,20	1	0,40	0,60
	7 Izolația la fundul crestăturii	Micanită (sau carton electrotehnic)	0,50	1	—	0,50
	8 Izolația sub pană	Micanită (sau carton electrotehnic)	0,50	1	—	0,50
	9 Pană	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolația mănunchiului	Micabandă, jumătate suprapus	0,15	2	0,60	0,60
	3 Izolația între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolația la suprafață	Bandă bumbac, jumătate suprapus	0,20	2	0,80	0,80

Domeniul de utilizare		9. Înfășurări în două straturi, cu bobine rigide, impregnate după izolare cu micabandă, izolație continuă, crestături deschise, tensiuni pînă la 550 V, izolație clasa B. (v. fig. IV-3)				
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat, cu izolație textilă (sticlă) sau email cl. B	—	—	—	—
	2 Izolația mănunchiului	Micabandă, jumătate suprapus	0,13	2	1,04	2,08
	3 Izolația între mănunchiurile aceluiași strat	—	—	—	—	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	Bandă de bumbac, nesuprapus	0,20	1	0,40	0,80
	5 Izolația între straturi	Micanită	0,50	1	—	0,50
	6 Izolația crestăturii	Carton electrotehnic impregnat	0,20	1	0,40	0,60
	7 Izolația la fundul crestăturii	Micanită (sau carton electrotehnic)	0,50	1	—	0,50
	8 Izolația sub pană	Micanită (sau carton electrotehnic)	0,50	1	—	0,50
	9 Pană	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolația mănunchiului	Micabandă, jumătate suprapus	0,13	2	1,04	1,04
	3 Izolația între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolația la suprafață	Bandă de bumbac, jumătate suprapus	0,20	2	0,80	0,80

Domeniul de utilizare		10. Înfășurări în două straturi, cu bobine rigide, cu 4 mănunchiuri în crestătură, crestături semideschise, pentru tensiuni pînă la 550 V, izolație clasa B. (v. fig. IV-1)				
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat, cu izolație textilă (sticlă) sau email cl. B	—	—	—	—
	2 Izolația mănunchiului	Țesătură din fire de sticlă lăcuită	0,20	2½	1,00	1,60
	3 Izolația între mănunchiurile aceluiași strat	—	—	—	—	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	—	—	—	—	—
	5 Izolația între straturi	Micanită	0,50	1	—	0,50
	6 Izolația crestăturii	Izolație foliu plastic între două cartoane electrotehnice	0,45	1	0,90	1,35
	7 Izolația la fundul crestăturii	Carton electrotehnic	0,20	1	—	0,20
	8 Izolația sub pană	Carton electrotehnic	0,20	1	—	0,20
	9 Pană	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolația mănunchiului	Bandă de țesătură de sticlă, jumătate suprapus	0,15	2	0,60	0,60
	3 Izolația între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolația la suprafață	—	—	—	—	—

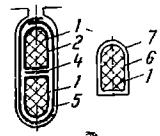
Domeniul de utilizare		11. Înfășurări în două straturi, cu bobine rigide, cu teacă izolantă închisă, crestături deschise, pentru tensiuni pînă la 550 V, izolație clasa B. (v. fig. IV-4).				
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat, cu izolație textilă (sticlă) sau email cl. B	—	—	—	—
	2 Izolația mănunchiului	Țesătură din fire de sticlă lăcuită	0,20	$2^1/_2$	1,00	1,60
	3 Izolația între mănunchiurile aceluiași strat	Hîrtie de azbest (sau de mică)	0,20	1	0,20	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	Bandă din țesătură de sticlă, nesuprapus	0,15	1	0,30	0,60
	5 Izolația între straturi	Micanită	0,50	1	—	0,50
	6 Izolația crestăturii	Izolație mică între două folii plastice de clasă B	0,45	1	0,90	1,35
	7 Izolația la fundul crestăturii	Micanită (sau carton electrotehnic)	0,20	1	—	0,20
	8 Izolația sub pană	Micanită (sau carton electrotehnic)	0,20	1	—	0,20
	9 Pană	Lemn de fag impregnat	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolația mănunchiului	Bandă din țesături de sticlă lăcuită, jumătate suprapus	0,15	2	0,60	0,60
	3 Izolația între spirele mănunchiurilor vecine	Hîrtie de azbest (sau mică)	0,20	1	—	0,20
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolația la suprafață	Bandă de sticlă (sau de bumbac) jumătate suprapus	0,15	2	0,60	0,60

Domeniul de utilizare		12. Înfășurări în două straturi, cu bobine rigide, su izolație mixtă cu teacă izolantă moale, crestături deschise pentru tensiuni pînă la 550 V, izolație clasa F. (v. fig. IV-3)				
Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lățime	înălțime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat, cu izolație textilă (sticlă cu siliconi), email cl. F	—	—	—	—
	2 Izolația mănunchiului	Țesătură de sticlă lăcuită sau sticlomicanită flexibilă (cu siliconi)	0,20	2	0,80	1,60
	3 Izolația între mănunchiurile aceluiași strat	—	—	—	—	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	Bandă din țesătură de sticlă lăcuită cu siliconi, nesuprapus	0,15	1	0,30	0,60
	5 Izolația între straturi	Micanită	0,50	1	—	0,50
	6 Izolația crestăturii	Izolație mică+țesătură de sticlă pe una sau pe ambele părți	0,45	1	0,90	1,35
	7 Izolația la fundul crestăturii	Micanită	0,50	1	—	0,50
	8 Izolația sub pană	Micanită	0,50	1	—	0,50
	9 Pană	Sticlotextolit	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolația mănunchiului	Sticlomicabandă, jumătate suprapus	0,2	2	0,80	0,80
	3 Izolația între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolația la suprafață	Bandă din țesătură de sticlă, jumătate suprapus	0,15	2	0,60	0,60

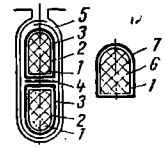
Domeniul de utilizare		13. Înfăşurări în două straturi, cu bobine rigide, cu izolaţie continuă cu teacă izolantă moale, crestături deschise, pentru tensiuni pînă la 550 V, izolaţie clasa F. (v. fig. IV-3)				
Poziţia	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestătură mm	
					lăţime	înălţime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat, cu izolaţie textilă (sticlă cu siliconi) sau email cl. F	—	—	—	—
	2 Izolaţia mănunchiului	Sticlomicobandă cu siliconi	0,20	2	0,80	1,60
	3 Izolaţia între mănunchiurile aceluiaşi strat	—	—	—	—	—
	4 Teaca izolată a mănunchiului	Bandă de ţesătură de sticlă lăcuită cu siliconi, nesuprapus	0,15	1	0,30	0,60
	5 Izolaţia între straturi	Micanită	0,50	1	—	0,50
	6 Izolaţia crestăturii	Izolaţie mică între două ţesături din fier de sticlă cu siliconi	0,45	1	—	0,45
	7 Izolaţia la fundul crestăturii	Micanită	0,5	1	—	0,5
	8 Izolaţia sub pană	Micanită	0,5	1	—	0,5
	9 Pană	Sticlotextolit	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolaţia mănunchiului	Sticlomicobandă cu siliconi, jumătate suprapus	0,2	2	0,8	0,8
	3 Izolaţia între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolaţia la suprafaţă	Bandă din ţesătură de sticlă, jumătate suprapus	0,15	2	0,60	0,60

Domeniul de utilizare		14. Înfăşurări în două straturi, cu bobine rigide, cu teacă izolantă închisă, crestături deschise, pentru tensiuni până la 520 V, izolaţie clasa F. (v. fig. IV-4)				
Poziţia	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestături mm	
					lăţime	înălţime
În crestătură	1 Conductor bobinaj	Cupru profilat, cu izolaţie textilă (sticlă cu siliconi) sau email cl. F	—	—	—	—
	2 Izolaţia mănunchiului	Sticlomicanită flexibilă cu siliconi	—	—	—	—
	3 Izolaţia între mănunchiurile aceluiaşi strat	Sticlomicanită cu siliconi	0,3	1	—	0,3
	4 Teaca izolată a mănunchiului	Bandă din ţesături de sticlă lăcuită cu siliconi, nesuprapus	0,15	1	0,30	0,60
	Izolaţia între straturi	Micanită (sau steclomicanită)	0,5	1	—	0,5
	6 Izolaţia crestăturii	Izolaţie mică între două ţesături din fire de sticlă cu siliconi	0,45	1	—	0,45
	7 Izolaţia la fundul crestăturii	Micanită	0,5	1	—	0,5
	8 Izolaţia sub pană	Micanită	0,5	1	—	0,5
	9 Pană	Sticlotextolit	—	—	—	—
La capete de bobine	2 Izolaţia mănunchiului	Sticlomicobandă jumătate suprapus	0,20	2	0,8	0,8
	3 Izolaţia între spirele mănunchiurilor vecine	—	—	—	—	—
	4 Teacă izolantă continuă	—	—	—	—	—
	5 Izolaţia la suprafaţă	Bandă din ţesătură de sticlă, jumătate suprapus	0,15	2	0,60	0,60

Sisteme de izolație (clasă A și B) pentru înfășurări de curent alternativ de joasă tensiune, folosite în construcția rotoarelor motoarelor asincrone

Schița							
Domeniul de utilizare			I. Înfășurări în două straturi, cu conductor profilat special, pentru tensiuni pînă la 300 V, izolație clasa A.				
	Poziția	Reper	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestături mm	
						lățime	înălțime
Porțiunea din crestătură	1	Conductor bobinaj	Cupru cu profil special, neizolat	—	—	—	—
	2	Izolația mănunchiului	Hîrtie telefonică lăcuită	0,07	6	0,84	1,68
	3	Izolația mănunchiului	—	—	—	—	—
	4	Izolația între straturi	Carton electrotehnic impregnat	0,5	1	—	0,5
	5	Izolația crestăturii	Carton electrotehnic	0,2	1	0,4	0,6
Cap de bobină	6	Izolația barei	—	—	—	—	—
	7	Izolația la suprafață	Bandă taftă, jumătate suprapus	0,18	1	0,72	0,72

ANEXA V (continuare)

(vezi figura exemplul 1)	

2. Înfăşurări în două straturi, cu conductor profilat special, pentru tensiuni cuprinse între 300 V şi 500 V, izolaţie clasa A					3. Înfăşurări în două straturi, cu conductor cu profil special, cu izolaţie întărită pentru tensiuni pînă la 300 V, izolaţie clasa A				
Poziţia	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestături mm		Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestături mm	
				lăţime	înălţime				lăţime	înălţime
1	Cupru cu profil special, neizolat	—	—	—	—	Cupru cu profil special, neizolat	—	—	—	—
2	Hîrtie telefonică lăcuită	0,07	10	1,40	2,80	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	Hîrtie telefonică lăcuită	0,07	8	1,12	2,24
4	Carton electrotehnic impregnat	0,5	1	—	0,5	Carton electrotehnic impregnat	0,5	1	—	0,5
5	Carton electrotehnic	0,2	1	0,4	0,6	Carton electrotehnic	0,15	1	0,3	0,45
6	Bandă lăcuită jumătate suprapus	0,2	1	0,80	0,80	Micabandă jumătate suprapus	0,13	1	0,52	0,52
7	Bandă bumbac, jumătate suprapus	0,15	1	0,60	0,60	Bandă de batist, ½ suprapus	0,12	1	0,48	0,48

(vezi figura exemplul 3)

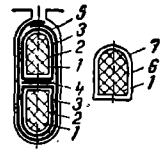
4. Înfăşurări în două straturi, cu conductor, cu profil special, cu izolaţie întărită, pentru tensiuni cuprinse între 300 V şi 500 V, izolaţie clasa B

Poziţia	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestături mm	
				lăţime	înălţime
1	Cupru cu profil special neizolat	—	—	—	—
2	Micabandă jumătate suprapus	0,13	1	1,52	1,04
3	Hîrtie telefonică lăcuită	0,07	6	0,84	1,68
4	Carton electrotehnic impregnat	0,5	1	—	0,5
5	Leteroid	0,2	1	0,4	0,6
6	Micabandă, jumătate suprapus	0,13	1	0,52	0,52
7	Bandă tafta, jumătate suprapus	0,18	1	0,72	0,72

(vezi figura ex. 6-7)

5. Înfăşurări în două straturi, cu conductor, cu profil special, crestături semiînchise pentru tensiuni cuprinse între 550 V şi 750 V, izolaţie clasa B

Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestături mm	
			lăţime	înălţime
Cupru cu profil special, neizolat	—	—	—	—
Micabandă, jumătate suprapus	0,13	1	0,52	1,04
Micafoliu, parţial suprapus	0,2	$2^1/_4$	0,8	1,6
Carton electrotehnic (leteroid)	0,15	1	0,3	0,6
Carton electrotehnic	0,50	1	—	0,5
Carton electrotehnic (leteroid)	0,2	1	0,4	0,60
Micabandă, jumătate suprapus	0,13	1	0,52	0,52
Bandă tafta, jumătate suprapus	0,18	1	0,72	0,72



Poziția	Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestături mm		Denumirea materialului	Grosime mm	Număr de straturi	Grosimea materialului în crestături mm	
				lățime	înălțime				lățime	înălțime
	6. Înfășurări în două straturi, cu conductor cu profil special, crestături semiînchise, pentru tensiuni cuprinse între 750 V și 1000 V, izolație clasa B					**7. Înfășurări în două straturi, cu conductor cu profil special, crestături semiînchise, pentru tensiuni cuprinse între 1000 V și 1500 V, izolație clasa B**				
1	Cupru cu profil special, neizolat	=	—	—	—	Cupru cu profil special neizolat	—	—	—	—
2	6 { Micabandă, jumătate suprapus	0,13	1	0,52	1,04	Micabandă, jumătate suprapus	0,13	2	1,04	2,08
	6 { Micafoliu parțial suprapus	0,2	3 1/4	1,20	2,40	Micafoliu, parțial suprapus	0,2	4 1/4	1,6	3,20
3	Carton electrotehnic (leteroid)	0,15	1	0,2	0,6	Carton electrotehnic (leteroid)	0,15	1	0,30	0,60
4	Carton electrotehnic	0,50	1	—	0,5	Carton electrotehnic	0,50	1	—	0,50
5	Carton electrotehnic	0,5	1	—	0,5	Carton electrotehnic	0,5	1	—	0,50
6	Micabandă, jumătate suprapus	0,13	2	1,04	2,08	Micabandă, jumătate suprapus	0,13	3	1,56	3,12
7	Bandă de tufă, jumătate suprapus	0,18	1	0,72	0,72	Bandă de tafta jumătate suprapus	0,18	1	0,72	0,72

ANEXA VI

Model de fişe tehnică

(1)	Fişă tehnică a înfăşurării (2)	F.T. Nr. . . . . (3)

A. Caracteristicile maşinii : (4) .

. . . . . .

B. Cauzele care au determinat $\frac{\text{executarea}}{\text{repararea}}$ înfăşurării : (5)

a. Constatări în funcţionarea maşinii :	b. Încercări efectuate, rezultate obţinute :
. . . . .	. . . . .

c. Concluzii :

. . . . . .

C. Caracteristicile înfăşurării :

a. Tipul înfăşurării : . . . . . .

b. Caracteristicile nominale de funcţionare : (7)

. . . . . .

c. Conductorul de bobinaj : (8) . . . . . .

d. Date de bobinaj : (9)

. . . . . .

e. Schema electrică desfăşurată a înfăşurării : (10)

f. Schema electrică de conexiuni a maşinii :	g. Alte date caracteristice ale înfăşurării :

Întocmit de :	Verificat de :	Data întocmirii fişei :
. . . . .	. . . . .	. . . . . 196.

(1)	FIŞA TEHNICĂ A INFĂŞURĂII	F.T. Nr. . . . . pag. 2/2

D. Construcţie şi dimensiuni: (11)
I. Dispunerea înfăşurării

Schiţa crestăturii:	Dispunerea de-a lungul crestăturii şi capetele de bobine:

3. Elementele izolaţiei în crestătură: (12)

Reper	Denumirea izolaţiei	Materialul		Modul de aşezare	Dispunerea în crestătnră			
					pe lăţime		pe înălţime	
		Denumirea, natura	Caracteristici		număr de straturi	grosime (mm)	număr de straturi	grosime (mm)
	Conductor							
1	Izolaţie conductor							
2	Izolaţie între spire							
3	Izolaţia mănunchiului							
4	Izolaţia între straturi							
5	Izolaţia (teaca) crestăturii							
6	Izolaţia la fundul crestăturii							
7	Izolaţia sub pană (sub bandajul de consolidare)							
8	Pana izolantă pentru închiderea crestăturii							
	Dimensiunile crestăturii rezultate din dispunerea mănunchiurilor în crestătură:				b_c=		h_c=	

3. Elementele izolaţiei la capetele de bobine: (13)

	Conductor							
	Izolaţia conductorului							
	Izolaţia între spire							
	Izolaţia pe suprafaţa mănunchiului							
	Izolaţia între straturi (etaje)							
	Izolaţia (coturi) între faze (la înfăşurări de curent alternativ)							
	Izolaţia suportului capului de bobină							
	Izolaţia faţă de diapozitivul de consolidare (la rotoare)							
	Izolaţia legăturilor							
	Dimensiunile mănunchiului la capete de bobine				b_m cb=		h_c=	

E. Alte ele mente ale izolaţiei: (14)

Izolaţia colectorului inele de contact		Izolaţia perilor		Izolaţia legăturii la borne		Izolaţia bornelor		Impregnare:
Material	Dimensinni	Material	Dimensiuni	Material	Dimensiuni	Material	Dimensiuni	Tipul lacului . . . . . Fabricant . . . . . Uscare . . . °C . . h Nr. de impregnări . . .
								Acoperire: Tipul lacului . . . . . Uscsre . . °C . . . h

Întocmit de	Verificat de	Data întocmirii fişei . . . . .

(1) Denumirea întreprinderii, atelierului sau organizației unde se întocmește fișa tehnică a înfășurării în vederea executării sau reparării înfășurării.

(2) Denumirea înfășurării (de exemplu : înfășurarea indusului motorului de tracțiune tip TV2 ; înfășurarea statorului generatorului sincron Gl-2 000 kW etc.).

(3) Se înscrie numărul de ordine al fișei. Se recomandă ca fișele să fie grupate pe tipuri de înfășurări și numerotarea să se facă în ordinea completării. De exemplu : Folosind pentru numerotare un sistem cu două grupe a cîte două cifre și însemnînd cu :

10 — înfășurările tip indus de curent continuu ;

20 — înfășurările de curent alternativ repartizate, așezate în statoare ;

30 — înfășurările de curent alternativ repartizate, așezate în rotor ;

40 — înfășurările din statorul motoarelor monofazate etc., la fiecare din acestea putînd fi stabilite subgrupe (pentru tipuri reprezentative de mașini sau domenii de utilizare, de exemplu : în cadrul grupei 10 să se folosească : numărul 11 pentru mașini de curent continuu de uz general, numărul 12 pentru mașini de curent continuu de tracțiune urbană, numărul 13 pentru mașini de curent continuu de tracțiune Diesel-electrică etc., iar grupa a doua de două cifre fiind pentru numărul de ordine, notarea în final pentru a 15-a fișă întocmită pentru înfășurarea indusului unui motor de curent continuu pentru tramvai (tracțiune urbană) se notează cu : „F.T. Nr. 12—15".

(4) Se înscriu în mod obligatoriu :

— datele de pe plăcuța indicatoare a mașinii (tipul mașinii, seria de fabricație, uzina sau fabrica producătoare, puterea în kW, tensiunea în V, curentul în A, turația în rot/min, frecvența (la mașinile de curent alternativ) în Hz, tensiunea în rotor în V, curentul rotoric în A etc. ;

— locul și destinația mașinii în exploatare ;

— de cînd este în exploatare.

(5) Se vor înscrie observațiile din exploatare la scoaterea (defectarea) mașinii ; de asemenea, se vor înscrie rezultatele încercărilor efectuate pentru stabilirea defectului, observațiile din timpul efectuării acestor încercări și concluziile privind înfășurarea.

(6) Se va indica tipul înfășurării folosind indicațiile din capitolele 3, 4, 5, 6 și 7. De exemplu : înfășurare de curent alternativ, trifazată, de tensiune joasă, statorică.

(7) Se vor indica caracteristicile nominale de funcționare ale înfășurării în funcționarea mașinii, respectiv tensiunea nominală (în V), și curentul nominal (în A).

(8) Se va indica tipul conductorului de bobinaj izolat, materialul din care este realizat conductorul de bobinaj (cupru sau aluminiu), dimensiunile $\frac{\text{conductor neizolat}}{\text{conductor izolat}}$, natura materialului izolant și în cazul izolațiilor din benzi, fire sau țesături cu sau fără peliculă de lac electroizolant, să se indice modul în care este așezată izolația pe suprafața conductorului.

(9)Se vor trece datele de bobinaj indicate în capitolele 3, 4 și 5.

De exemplu, la o înfășurare de curent alternativ în două straturi se vor indica : numărul de crestături Z, numărul perechilor de poli p, numărul de crestături pe pol și fază q, numărul de spire în serie pe fază w etc.

(10) Pentru întocmirea schemelor desfășurate ale înfășurărilor se folosesc indicațiile din capitolul 4 (4.2.2. pentru înfășurările tip indus de curent continuu) și din capitolul 5 (5.2.2. c pentru înfășurările de curent alternativ).

(11) În fiecare caz în parte soluția cu dispunerea în crestătură se întocmește conform recomandărilor din capitolul 10 (10.3.2, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.5). Este importantă păstrarea notării elementelor izolației în crestătură conform indicațiilor din 10.3.2 și care corespund cu notațiile din tabela conținută de fișă.

(12) Se completează numai pentru elementele izolației în crestătură care rezultă din schița crestăturii ; dimensiunile b și h care se obțin prin însumare, corespund notațiilor din fig. 10.33.

(13) Se completează numai pentru elementele izolației la capul de bobină, conform indicațiilor din capitolul 10 (10.3.2) și care corespund dispunerii înfășurării de-a lungul crestăturii și la capetele de bobine ; dimensiunile b_{mcb} și h_{mcb} corespund notațiilor din fig. 10.33.

(14) Se referă la toate elementele izolației circuitului electric al înfășurării. Se atrage atenția asupra importanței completării datelor privind : impregnarea și acoperirea înfășurării.

Sîrme de cupru rotunde pentru bobinaj (extras din STAS-685-58 ; 542-59 ; 543-59).
d — diametrul conductorului, în mm ;
s_c — aria secțiunii conductorului, în mm²

d	s_c	d	s_c	d	s_c
(0,03)	0,00071	(0,36)	0,1018	1,50	1,767
(0,04)	0,00126	(0,37)	0,1075	1,55	1,887
(0,05)	0,00196	0,38	0,1134	1,60	2,011
(0,06)	0,00283	(0,39)	0,1195	1,65	2,138
0,07	0,00385	0,40	0,1257	1,70	2,270
0,08	0,00503	0,42	0,1385	1,75	2,405
0,09	0,00636	(0,43)	0,1452	1,80	2,545
0,10	0,00785	0,45	0,1590	1,85	2,686
0,11	0,00950	(0,47)	0,1753	1,90	2,835
0,12	0,01131	0,48	0,1810	1,95	2,984
0,13	0,01327	0,50	0,1964	2,00	3,142
0,14	0,01539	0,55	0,2376	2,10	3,464
0,15	0,01767	0 60	0,2827	2,20	3,801
0,16	0,02011	0,65	0,3318	2,30	4,155
(0,17)	0,02270	0,70	0,3849	2,40	4,524
0,18	0,02545	0,75	0,4418	2,50	4,909
(0,19)	0,02835	0,80	0,5027	2,60	5,309
0,20	0,03142	0,85	0,5675	2,70	5,726
(0,21)	0,03464	0,90	0,6362	2,80	6,158
0,22	0,03801	0,95	0,7088	2,90	6,605
(0,26)	0,05309	1,00	0,7854	3,00	7,069
(0,27)	0,05726	1,05	0,8659	3,10	7,548
0,28	0,06158	1,10	0,9503	3,20	8,043
(0,29)	0,06605	1,15	1,030	3,30	8,553
0,30	0,07069	1,20	1,131	3,40	9,079
(0,31)	0,07548	1,25	1,227	8,50	9,621
0,32	0,08043	1,30	1,327	3,60	10,18
(0,33)	0,08553	1,35	1,431	3,80	11,34
(0,34)	0,09079	1,40	1,539	4,00	12,57
0,35	0,09621	1,45	1,651		

Sîrme de cupru dreptunghiulare (extras din STAS 2873-55).
Dimensiunile nominale, în mm și secțiunile de calcul, în mm²

b \ a	0,83	0,90	1,0	1,08	1,16	1,25	1,35	1,45	1,50	1,56	1,68	1,81	1,95	2,0	2,1	2,26	2,44	2,5
2,1	1,CO	1,72	1,89	2,06	2,23	2,42	2,63	2,84	—	3,06	3,32	3,54	—	—	3,92	—	—	—
2,26	—	1,88	2,05	2,23	2,41	2,62	2,84	3,07	—	3,32	3,59	3,83	—	—	—	4,63	—	—
2,44	—	2,03	2,23	2,43	2,62	2,84	3,68	3,33	—	3,60	3,89	4,21	4,55	—	4,64	—	5,37	—
2,63	—	2,20	2,42	2,63	2,84	3,08	3,34	3,60	—	3,80	4,21	4,55	4,92	—	5,04	5,46	5,94	—
2,83	—	2,38	2,62	2,85	3,07	3,33	3,61	3,89	—	4,20	4,54	4,91	5,31	—	5,46	5,92	6,43	—
3,05	—	—	2,84	3,08	3,33	3,60	3,91	4,21	—	4,55	4,91	5,31	5,74	—	5,93	6,41	6,96	—
3,28	—	—	3,07	3,33	3,60	3,89	4,22	4,55	—	4,91	5,30	5,73	6,19	—	6,41	6,93	7,52	—
3,53	2,79	—	3,32	3,60	3,89	4,20	4,56	4,91	—	5,30	5,72	6,18	6,67	—	6,93	7,50	8,13	—
3,8	—	3,25	3,59	3,89	4,20	4,54	4,92	5,30	—	5,72	6,17	6,67	7,20	—	7,50	8,11	8,79	—
4,1	—	—	3,89	4,22	4,55	4,92	5,33	5,74	—	6,19	6,68	7,21	7,79	—	8,13	8,79	9,52	—
4,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10
4,4	—	—	4,19	4,54	4,89	5,29	5,73	6,17	—	6,65	7,18	7,75	8,37	—	8,76	9,46	10,2	—
4,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,8	—	—	—	—
4,7	—	—	4.49	4,87	5,24	5,67	6,14	6,61	—	7,12	7,79	8,30	8,96	—	9,39	10,1	11,0	—
5,1	—	—	4,89	5,30	5,71	6,17	6,68	7,19	—	7,75	8,36	9,02	9,74	—	10,2	11,0	11,9	—
5,5	—	—	5,29	5,73	6,17	6,67	7,22	7,77	—	8,37	9,03	9,75	10,5	—	11,1	11,9	12,9	13,3
5,9	—	—	5,69	6,16	6,63	7,17	7,76	8,35	—	8,99	9,70	10,5	11,3	—	11,9	12,8	13,9	—
6,4	—	—	6,19	6,70	7,21	7,79	8,43	9,07	—	9,77	10,6	11,4	12,3	—	12,9	14,0	15,1	—
6,9	—	—	6,69	7,24	7,79	8,42	9,11	9,79	—	10,6	11,4	12,3	13,3	—	14,0	15,1	16,3	—
7,4	—	—	7,19	7,78	8,37	9,04	9,78	10,5	—	11,3	12,6	13,3	14,2	—	15,0	16,2	17,6	—
8,	—	—	7,79	8,43	9,07	9,79	10,6	11,4	—	12,3	13,2	14,4	15,4	—	16,3	17,6	19,0	—
8,6	—	—	8,39	9,08	9,77	10,6	11,4	12,3	—	13,2	14,2	15,5	16,6	—	17,6	18,9	20,5	—
9,3	—	—	—	9,83	10,58	11,4	12,4	13,3	—	14,3	15,4	16,6	17,9	—	19,0	20,5	22,2	—
10	—	—	—	—	11,4	12,3	13,3	14,3	14,8	15,4	16,6	17,9	19,3	19,8	20,5	22,1	23,9	24,5
10,8	—	—	—	—	—	—	14,4	15,5	—	16,6	17,9	19,3	20,9	—	22,2	23,9	25,9	—
11,6	—	—	—	—	—	—	15,5	16,6	—	17,9	19,3	20,8	22,4	—	23,9	25,7	27,8	—
12,5	—	—	—	—	—	—	—	17,9	18,5	19,4	20,8	22,4	24,2	24,8	25,8	27,8	30,0	30,3
13,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20,8	22,5	24,2	26,1	—	27,9	30,0	32,4	—
14,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24,2	26,1	28,0	—	30,0	32,3	34,9	—
15,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28,0	30,2	—	32,3	34,8	37,6	—
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	39,5
16,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32,6	—	34,8	37,5	40,5	—
18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37,3	40,2	43,4	—
19,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	43,6	47,1	—
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	49,5
22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

2,63	2,83	3,0	3,05	3,28	3,53	3,8	4,1	4,4	4,7	5,1	5,5	6	7,0	8,0	9,0	10	11,0	12,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	7,53	—	8,72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7,54	8,15	—	9,51	10,3	—	12,9	15,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,15	8,80	—	10,3	11,1	12,0	13,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,80	9,51	—	11,1	12,0	—	15,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9,51	10,3	—	12,0	13,0	14,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10,3	11,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11,1	12,0	—	12,9	13,9	15,0	16,2	17,1	18,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	21,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11,9	12,8	—	13,8	14,9	16,1	17,4	18,4	—	—	25,1	—	—	—	—	—	—	—	—
12,9	13,9	—	15,1	16,2	17,5	18,9	20,0	21,5	—	27,2	—	—	—	—	—	—	—	—
14,0	15,1	—	16,3	17,5	18,9	20,4	21,7	23,3	25,0	29,2	—	—	—	—	—	—	—	—
15,0	16,2	—	17,5	18,9	20,3	21,9	23,3	25,9	26,8	31,7	—	34,5	—	—	—	—	—	—
16,3	17,6	—	19,0	20,5	22,1	23,8	25,3	27,3	29,2	34,3	34,3	37,5	47,4	—	—	—	—	—
17,7	19,0	—	20,6	22,1	23,9	25,7	27,4	29,5	31,5	37,1	37,1	40,5	50,9	—	—	—	—	—
19,0	20,4	—	22,1	23,6	25,6	27,6	29,4	31,7	33,9	39,8	39,8	43,5	55,1	63,2	—	—	—	—
20,5	22,1	—	23,9	25,7	27,7	29,9	31,9	34,3	36,7	43,1	43,1	47,1	59,3	68,9	—	—	—	—
22,1	23,8	—	25,7	27,7	29,9	32,2	34,4	36,9	39,5	46,4	46,4	50,7	64,2	73,5	82,8	—	—	—
24,0	25,8	—	27,9	30,0	32,3	34,8	37,2	40,0	42,8	50,3	50,3	54,9	69,1	79,1	89,1	99,1	—	—
25,8	27,8	29,5	30,0	32,3	34,8	37,5	40,1	43,1	46,1	54,1	54,1	59,1	74,7	85,5	96,3	—	—	—
27,9	30,1	—	32,4	34,9	37,6	40,5	43,4	46,6	49,9	58,5	58,5	63,9	80,4	91,9	103,5	—	—	—
30,0	32,3	37,0	34,9	37,5	40,5	43,6	46,7	50,1	53,6	62,9	62,9	68,7	86,6	99,1	111,6	124,1	136,6	155,4
32,4	34,9	—	37,6	40,5	43,6	47,0	50,4	54,1	57,9	67,9	67,9	74,1	93,6	107,1	120,6	—	—	—
35,0	37,7	—	40,7	43,8	47,2	50,8	54,5	58,5	62,6	73,4	73,4	80,1	100,6	115,1	129,6	—	—	—
37,5	40,5	—	43,7	47,1	50,6	54,6	58,6	62,9	67,3	78,9	78,9	86,1	108,3	123,9	139,5	—	—	—
40,5	43,7	—	47,1	50,7	54,6	58,8	63,1	67,6	72,4	84,9	84,9	92,7	116,7	133,5	150,3	156,1	—	—
43,7	47,0	47,5	50,7	54,5	58,8	63,3	68,0	73,0	78,1	91,5	91,5	99,9	125,1	143,1	161,1	—	—	—
46,8	50,4	—	54,4	58,5	63,0	67,9	72,9	78,3	83,7	98,1	98,1	107,1	135,6	155,1	174,6	—	—	—
50,8	54,7	59,5	59,0	63,5	68,3	73,6	79,1	84,3	90,8	106,4	106,4	116,1	146,1	167,1	188,1	—	—	—
57,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	119,1	—	—	—	—	—	—
—	61,8	—	66,6	71,7	77,2	83,1	89,1	95,8	102,5	111,3	120,1	131,1	153,1	—	—	—	—	—
—	70,4	74,5	75,8	81,5	88,3	94,5	101,4	109,1	116,5	126,6	136,6	149,1	174,1	—	—	—	—	—
—	—	—	79,7	86,8	92,3	99,4	106,9	114,3	122,7	133,2	143,8	156,9	183,2	—	—	—	—	—
—	—	—	—	91,3	98,3	105,9	113,9	122,3	130,8	141,9	153,1	167,1	195,1	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	105,4	113,5	122,1	131,1	140,1	152,1	164,1	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	121,1	129,9	139,3	149,5	162,3	175,1	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	132,5	142,6	153,1	163,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabela 10.34

Caracteristicile procedeelor de impregnare

Nr. crt.	Tipul bobinelor	Tipul izolației conductorului	Mediul de exploatare	Impregnarea		Acoperirea		Uscare		Impregnare I		Impregnare II		Impregnare III, IV		Acoperire I		Acoperire II	
				Lac	Numărul de impregnări	Lac	Numărul de impregnări	°C	ore	°C	ore	°C	ore	°C	ore	°C	ore	°C	ore
1	Bobine polare ale mașinilor de joasă tensiune	email-bumbac	normal	447 – 458 sau 447 – 462	2	462	2	105 – 120	2 – 7	110 – 120	6 – 8	110 – 120	8 – 12	–	–	în aer	3 – 5	în aer	5 – 8
		email	normal	61	1	462	2	100	2	100	25	–	–	–	–	în aer	3 – 5	în aer	5 – 8
		email-bumbac sau bumbac email	umed (minier sau marin)	447	3	SVD	2	105 – 120	2 – 7	110 – 120	6 – 8	110 – 120	8 – 12	110 – 120	12	în aer	3 – 5	în aer	5 – 8
2	Statoare și rotoare pentru mașini de joasă tensiune	–	idem	61	1	SVD	2	100	2	100	25	–	–	–	–	în aer	3 – 5	în aer	5 – 8
			normal	447 – 462	2 – 3	462	2	120	5 – 7	120	8	120	12	–	–	în aer	3 – 5	în aer	5 – 8
			umed (minier sau marin)	447	3	SVD	2 – 3	120	8 – 12	120	12	120	15	120	14 – 15	în aer	3 – 8	în aer	6 – 10
3	Bobine polare ale mașinilor de joasă tensiune	email polivinil acetol	umed	VI 99	2	ISL	2	130 – 150	4	130 – 135	10	130 – 135	10	–	–	în aer	10	în aer	10
4	Statoare și rotoare ale mașinilor de joasă tensiune	email polivinil acetol	umed	VI 99	2	ISL	2	125 – 130	4 – 5	130 – 135	10	130 – 135	10	–	–	în aer	10	în aer	10
5	Bobine polare, statoare de joasă tensiune	email poliamidic și tereftalic	normal sau umed tropical TH	AIM VI 99	2 3	SPD VI 99-lac cu fungicide	2 2 – 4	120 120 – 130	4 – 6 4	120 135 – 135	10 10 – 13	120 130 – 135	10 10 – 13	– 130 – 135	– 10 – 13	120 130 – 135	2 6 – 8	120 în aer	2 15 min

BIBLIOGRAFIE

R. Richter, Înfășurările mașinilor electrice. București, Editura tehnică, 1958.

Gheorghiu, I. S., Mașini electrice, vol. I. Mașini de curent continuu și transformatorul. București, Tipografia învățământului, 1957.

Gheorghiu, I. S. Mașini electrice, vol. II. Mașina asincronă. București, Tipografia învățământului, 1958.

Gheorghiu, I. S. Mașini electrice, vol. III. Mașina sincronă. București, Editura didactică și pedagogică, 1961.

Gheorghiu, I. S. Mașini electrice, vol. IV. Mașini de curent alternativ cu colector. București, Editura didactică și pedagogică, 1964.

Gheorghiu, I. S. Mașini electrice. Probleme, vol. I și II. București, Editura tehnică, 1966.

Lazu, C. Mașini electrice. București, Editura didactică și pedagogică, 1966.

Ghiță, N., Răduț C. și *Nicolescu, E.* Mașini electrice. București, Editura didactică și pedagogică, 1961.

Nicolescu, E. și *Răduț, C.* Mașini electrice fabricate în R.P.R. București, Editura tehnică, 1965.

Ghemke, R. G. Defectele mașinilor electrice București, Editura tehnică, 1960.

Jerve, G. K. Încercările industriale ale mașinilor electrice. București, Editura tehnică, 1961.

Jerve, G. K. Cum se calculează înfășurarea motorului asincron. București, Editura tehnică, 1961.

Vinogradov, N. V. Executarea secțiilor și bobinelor mașinilor și aparatelor electrice. București, Editura Energetică de Stat, 1954.

Vinogradov, N. V. Fabricarea mașinilor electrice. București, Editura tehnică, 1964.

Rivlin, L. B. Motoare electrice și exploatarea lor. București, Editura tehnică, 1953.

Rivlin, L. B. Cum se determină defectele motorului asincron. București, Editura Tehnică, 1961.

Redactor responsabil: Ing. CONSTANTIN RUȘANU
Tehnoredactor: MARIA IONESCU

Dat la cules: 03.09.1966. Bun de tipar: 07.03.1967. Apărut 1967. Tiraj 8 500+125+15 leg. ½ pînză. Hîrtie Tip B, 63 g/m². 610×860/16. Coli editoriale 39,11. Coli de tipar 41,25. Planșe tipar 1. A. 13411/1966. C.Z. pentru bibliotecile mari 621.313. C.Z. pentru bibliotecile mici 621.

Tiparul executat sub comanda nr. 376 la Intreprinderea Poligrafică Banat. Republica Socialistă România.

Lei 26.—

EDITURA TEHNICĂ